



**ANTÓNIO JOSÉ  
DOS SANTOS  
BEÇA  
PEREIRA**

**PROJETO DE TANQUE NÁUTICO PARA TREINO DA  
PRÁTICA DE REMO**



**ANTÓNIO JOSÉ  
DOS SANTOS  
BEÇA  
PEREIRA**

**PROJECTO DE TANQUE NÁUTICO PARA TREINO  
DA PRÁTICA DE REMO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Vítor António Ferreira da Costa, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Doutor Robertt Angelo Fontes Valente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho ao Álvaro Pereira e à Alzira Beça.

## **o júri**

presidente

Prof. Doutor Francisco José Malheiro Queirós de Melo  
professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António Manuel Gameiro Lopes  
professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa  
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Robertt Angelo Fontes Valente  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

À Mélanie por todo o apoio que me tem dado e por me ter acompanhado em toda esta viagem.

A todos os meus amigos.

A todos os meus colegas e professores de turma e curso.

A todos os meus colegas de equipa.

A toda a minha família.

**palavras-chave**

Desporto, Remo, Tanque, Engenharia Mecânica, Mecânica dos Fluidos, Escoamentos

**resumo**

Devido à necessidade de melhorar as suas instalações de treino, a Secção de Remo do Galitos contactou o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro no intuito de este o ajudar nesta tarefa. Consistia na busca da melhor solução para a realização de um tanque que permitisse aos seus atletas praticarem as suas variantes de remo num recinto fechado.

Este estudo tem como objetivo facultar à secção toda a informação necessária, para que esta tome a decisão mais acertada tendo em conta as suas necessidades e expetativas.

Para além disso, outro dos “desejos” da Secção do Galitos era que este tanque fosse bombeado. Para tal, o estudo também inclui a compreensão do comportamento do fluido numa conduta para que, mais uma vez, se pudessem encontrar os parâmetros que melhor se adaptavam a este requisito.

Daí, ao longo do estudo, ter sido feita uma abordagem onde foram consideradas todas as possibilidades existentes tanto em termos desportivos como em termos de engenharia.

**keywords**

Sports, Rowing, Tank, Mechanical Engineering, Fluid Mechanics, Flows

**abstract**

Due to the need to improve training facilities, the Rowing Section of Galitos contacted the Mechanical Engineering Department of Aveiro University to ask for help with this task. This included looking for the best solution to build a tank that would allow athletes to practice the different rowing variants indoor.

The aim of this study is to provide the Rowing Section all the information they need so as to make the right decision, bearing in mind their needs and expectations.

Besides this, another “wish” of the Rowing Section of Galitos was for this tank to be pumped. For this purpose, the study also includes the understanding of the behavior of fluid in a pipe so as to find the parameters that best suited this requirement.

For this reason, the approaches considered all the possibilities both in terms of sports and engineering.

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Introdução  | 4  |
| 1 – Objetivo do trabalho  | 4  |
| 2 – Organização do trabalho   | 5  |
| Cap.1 – O remo  | 6  |
| 1.1. – O barco  | 6  |
| 1.2. – O remo   | 7  |
| 1.3. – Variantes do remo  | 8  |
| 1.4. – Área de trabalho e seus componentes                                  | 9  |
| 1.5. – Tanques  | 11 |
| Cap.2 – Escoamentos com superfície livre                                    | 14 |
| 2.1. – Tipos de secção  | 15 |
| 2.1.1. – Secção retangular  | 16 |
| 2.1.2. – Secção trapezoidal   | 16 |
| 2.1.3. – Secção triangular  | 17 |
| 2.2. – Número de Reynolds   | 17 |
| 2.3. – Altura crítica   | 18 |
| 2.3.1. – Secção retangular  | 18 |
| 2.3.2. – Secção trapezoidal   | 19 |
| 2.3.3. – Secção triangular  | 19 |
| Cap.3 – Escoamentos em condutas   | 20 |
| 3.1 – Equação da continuidade   | 21 |
| Cap.4 – Perdas de carga   | 23 |
| 4.1. – Escoamento com superfície livre                                      | 23 |
| 4.1.1. – Perdas de carga contínuas  | 23 |
| 4.1.2. – Teorema de <i>Bernoulli</i>  | 24 |
| 4.2. – Escoamentos em condutas  | 26 |
| 4.2.1. – Perdas de cargas contínuas em condutas de secção não circular      | 26 |
| 4.2.2. – Perdas de carga localizadas  | 27 |
| Cap.5 – Bombas  | 28 |
| 5.1. – Perdas de carga  | 28 |
| Cap.6 – Estudo de caso  | 30 |
| 6.1. – Comprimento do tanque  | 30 |
| 6.2. – Secção do escoamento   | 32 |
| 6.3. – Sistema de recuperação da água                                       | 34 |
| Cap.7 – Conclusões  | 53 |
| Bibliografia  | 55 |
| Anexo 1 – Diagrama de <i>Moody</i>  | 58 |
| Anexo 2 – Tabela das perdas de carga localizadas                            | 59 |
| Anexo 3 – Primeiro esquisso   | 60 |
| Anexo 4 – Tabela de cálculo das seções retangular, trapezoidal e triangular | 62 |
| Anexo 5 – Tabela de cálculo da secção trapézio-retangular                   | 63 |
| Anexo 6 – Esquisso do sistema de bombeamento                                | 64 |
| Anexo 7 – Tabela de cálculo final da secção retangular – 1ª conduta         | 65 |



|  |    |
|--|----|
| Anexo 8 – Tabela de cálculo final da secção trapézio-retangular – 1ªconduta  | 66 |
| Anexo 9 – Tabela de cálculo final da secção retangular – 2ªconduta           | 67 |
| Anexo 10 – Tabela de cálculo final da secção trapézio-retangular – 2ªconduta | 68 |
| Anexo 11 – Dimensões da Bomba - Begemann Q pump                              | 69 |
| Anexo 12 – Tabela de cálculo final da secção retangular – 3ªconduta          | 70 |
| Anexo 13 – Tabela de cálculo final da secção trapézio-retangular – 3ªconduta | 71 |

## Índice de Figura

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Imagem representativa das várias partes do remo  | 7  |
| Figura 2 – Barco de Ponta   | 8  |
| Figura 3 – Barco de Parelhas  | 9  |
| Figura 4 – Forqueta   | 9  |
| Figura 5 – Slide  | 9  |
| Figura 6 – Finca-Pé   | 10 |
| Figura 7 – Área de Trabalho   | 10 |
| Figura 8 – Durham Boat Tank   | 11 |
| Figura 9 – Durham Boat Tank – visto do atleta   | 12 |
| Figura 10 – Washington State University – Tanque de Remo  | 12 |
| Figura 11 – Superfície Livre  | 14 |
| Figura 12 – Características geométricas das secções de um canal                                     | 15 |
| Figura 13 – Características geométricas da secção retangular  | 16 |
| Figura 14 – Características geométricas da secção trapezoidal                                       | 16 |
| Figura 15 – Características geométricas da secção triangular  | 17 |
| Figura 16 – Zonas do escoamento a jusante da secção de entrada                                      | 20 |
| Figura 17 – Perfis de Velocidades   | 21 |
| Figura 18 – Aplicação da equação de continuidade a um escoamento no interior de um tubo             | 22 |
| Figura 19 – Esquema do movimento do remo  | 31 |
| Figura 20 – Configuração do Comprimento do Tanque   | 32 |
| Figura 21 – Pá Fat SMOOTHIE   | 32 |
| Figura 22 – Ilustração da aplicação dos taipais   | 33 |
| Figura 23 – Características geométricas da nova secção  | 34 |
| Figura 24 – Esquema da conduta de recuperação de água   | 35 |
| Figura 25 – Entrada da Conduta  | 36 |
| Figura 26 – Esquema da conduta mais compacta de recuperação de água                                 | 37 |
| Figura 27 – Nova Entrada da Conduta   | 37 |
| Figura 28 – Entrada Suavizada da Conduta  | 38 |
| Figura 29 – Bomba Axial   | 39 |
| Figura 30 – Curvas Características - Begemann Q pump  | 40 |
| Figura 31 – Comportamento do fluido ao longo do seu deslocamento dentro do tanque                   | 41 |
| Figura 32 – Vista superior do comportamento do fluido ao longo do seu deslocamento dentro do tanque | 42 |
| Figura 33 – Perfil de velocidades secção trapézio-retangular  | 42 |
| Figura 34 – Perfil de velocidades secção trapézio-retangular – secção suavizada                     | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 35 – Circulação do fluido – entrada da conduta                     | 43 |
| Figura 36 – Nova Conduta  | 44 |
| Figura 37 – Circulação do fluido – nova entrada da conduta                | 44 |
| Figura 38 – Guias para facilitar a circulação do fluido dentro da conduta | 45 |
| Figura 39 – Circulação do fluido dentro da nova conduta                   | 45 |
| Figura 40 – Planta do Projeto Final                                       | 46 |
| Figura 41 – Perfil de velocidades – Ponto 1                               | 46 |
| Figura 42 – Vetores Velocidade – Ponto 1                                  | 47 |
| Figura 43 – Perfil de velocidades – Ponto 2                               | 47 |
| Figura 44 – Vetores Velocidade – Ponto 2                                  | 47 |
| Figura 45 – Perfil de velocidades – Ponto 3                               | 48 |
| Figura 46 – Vetores Velocidade – Ponto 3                                  | 48 |
| Figura 47 – Entrada do escoamento na conduta                              | 49 |
| Figura 48 – Entrada suavizada do escoamento na conduta                    | 49 |
| Figura 49 – Dimensões das guias   | 50 |
| Figura 50 – Velocidade do fluido durante a curva do fluido                | 50 |
| Figura 51 – Perfil de velocidades – Ponto 6                               | 51 |
| Figura 52 – Vetores Velocidade – Ponto 6                                  | 51 |
| Figura 53 – Perfil de velocidades – Ponto 7                               | 52 |
| Figura 54 – Vetores Velocidade – Ponto 7                                  | 52 |

### **Índice de Tabelas**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Características das várias embarcações      | 7  |
| Tabela 2 – Características dos Barcos                  | 8  |
| Tabela 3 – Fator de resistência – Equação de Nikuradse | 27 |
| Tabela 4 – Valores para o rendimento                   | 29 |

### **Índice de Gráficos**

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 – Gráfico Energia Especifica/Altura de água    | 18 |
| Gráfico 2 – Curvas características da bomba e do sistema | 39 |

## Introdução

Em Portugal, o número de atletas federados, distribuídos pelas várias modalidades, é cada vez maior. Embora se fale sobretudo em futebol, existem outros desportos que também merecem a nossa atenção, não só pelas suas grandes conquistas, mas principalmente por serem geralmente esquecidos.

É normal, quando se realiza uma pequena pesquisa na Internet, encontrar vários centros de estágios de alta competição para atletas federados para que estes possam evoluir, tornando-se melhores atletas e alguns até grandes campeões. Mas, mais uma vez, nem todos têm as mesmas condições de trabalho.

O remo é um desses desportos que, embora tendo evoluído positivamente nos últimos anos, ainda continua a ser um desporto bastante desconhecido para a maioria do público. Este desporto pratica-se ao ar livre e depende, por isso, das condições climatéricas sendo, por vezes, impossível realizá-lo, principalmente nas estações do ano em que o mau tempo é mais frequente, nomeadamente no Outono e no Inverno.

Dessas dificuldades e do aumento do conhecimento, tanto em termos de engenharia como dos fatores que mais influenciam a prática deste desporto, emergem variados projetos com o intuito de “transportar” o treino desta prática desportiva para recintos fechados, ou seja, para um ambiente *indoor*. Assim, poder-se-á realizar durante todo o ano e permitir aos atletas uma evolução constante, sem pausas, e de uma forma muito aproximada da realidade da execução da atividade desportiva.

## 1 – Objetivo do trabalho

Este projeto tem como objetivo o anteprojecto de um tanque de remo onde seja permitido aos atletas praticar e evoluir tecnicamente na prática deste desporto. Para isso, ter-se-á que simular, o mais próximo da realidade, o movimento relativo barco-água e o movimento do atleta e do remo, sem que nenhum deles torne impossível ou irrealista o projeto.

O estudo deste tanque surgiu da proposta da secção de remo do Clube do Galitos de Aveiro, que equaciona adquirir ou construir um equipamento deste tipo para melhorar as suas condições de trabalho, e possibilitar aos seus atletas continuar a treinar e a melhorar as suas performances mesmo quando o clima natural de Aveiro não for o mais favorável. Daí ter sido sugerido o estudo do anteprojecto do tanque com o menor custo, tanto de construção como de funcionamento, sem que, obviamente, isso pusesse em causa a sua funcionalidade.

Em termos gerais, este tanque náutico terá que ser projetado para poder ser posteriormente implementado por parte da secção náutica do Clube dos Galitos, sem serem descurados aspetos como o espaço disponível pelo clube para a construção do tanque, as normas relativas ao dimensionamento de um barco de remos para a modalidade e a capacidade máxima de atletas permitida em simultâneo.

Por fim, ter-se-á que realizar um estudo estrutural e ao nível do escoamento da água, pois o tanque deverá ser bombeado, isto é, terá um circuito que fará o movimento da água da saída do tanque para a sua entrada, já que em condições reais é o barco que se desloca na água, e nas condições de *indoor* é a água que se desloca relativamente ao remador.

## **2 – Organização do trabalho**

Este estudo encontra-se dividido em 7 capítulos que serão de seguida especificados. No Capítulo 1 é feita uma pequena introdução sobre os fundamentos e os vários componentes utilizados na prática do remo. Para além disso, também é feito um levantamento do estado da arte sobre o tema do trabalho.

No segundo capítulo analisa-se um dos dois tipos de escoamentos que surgem neste trabalho, que é o escoamento em superfície livre. Através deste capítulo, pode-se entender o comportamento do fluido quando este esco numa conduta onde uma superfície se encontra em contacto com o meio gasoso que é o ar circundante.

Já no terceiro capítulo, analisa-se o outro tipo de escoamento presente neste trabalho, que é o escoamento em condutas, onde é possível perceber o comportamento do fluido numa conduta onde toda a sua secção é preenchida pelo fluido.

No quarto capítulo, e tendo em conta os dois capítulos anteriores, apresentam-se as relações para o cálculo das perdas de carga correspondentes a estes escoamentos.

No quinto capítulo encontram-se os elementos necessários para uma correta escolha da bomba que melhor se adapta a este sistema.

No sexto capítulo são apresentados os resultados do trabalho realizado. Neste capítulo tenta-se dar toda a informação necessária para que o projetista possa escolher a melhor solução tendo em conta toda a informação dos cinco capítulos anteriores.

Por último, este anteprojecto termina com o capítulo 7, apresentando as considerações finais e refletindo sobre todo o estudo desenvolvido.

## Cap.1 – Remo

Segundo Noronha Feio (1986), o remo, de uma forma sucinta, é um desporto que é praticado ao ar livre, em equipa ou individualmente. É considerado um dos desportos mais exigentes, pois obriga a um sincronismo corporal e de vontade muito grande. O remador deve ter uma alta generosidade e entrega ao trabalho visto a sua desistência ou entrega apenas parcial poder comprometer irremediavelmente o esforço dos outros. [1]

Embora este desporto tenha surgido muito antes do nascimento de Cristo, a primeira regata oficial surge apenas em 1716, quando em Londres se passou a realizar todos os anos uma corrida que consagrava o melhor barqueiro da cidade. Desde aí, houve um grande crescimento da modalidade, elevando-a ao que conhecemos hoje. Actualmente, a regata mais famosa do mundo é a disputada entre as Universidades de *Oxford* e *Cambridge*, tendo lugar em Londres, entre *Henley* e *Hambleton Lock*, no rio *Tamisa*. [2] Já em Portugal, esta modalidade surge por volta de 1828, sendo a primeira regata realizada em 1949 por Abel *Power Dagge*, considerado o primeiro desportista náutico em Portugal e um dos grandes impulsionadores desta modalidade no nosso país.[3]

A secção Náutica do Clube dos Galitos, clube que sugeriu a realização deste tanque, surge em Julho de 1937, tendo dominado durante a década de quarenta o remo em Portugal, conquistando inúmeros títulos de campeão nacional e ibéricos. De momento, e após várias conquistas, assume-se como um clube de formação, tendo obtido inúmeros títulos nacionais durante a última década. [4]

Seguidamente será aprofundado este tema, pois a realização deste trabalho pressupõe a existência de conhecimento sobre as dimensões do barco e do remo, o espaço ocupado pelo remador e todas as distâncias e dimensões dos vários componentes.

### 1.1. – O barco

Este é um dos fatores mais importantes na realização deste trabalho. As dimensões reais do barco têm que ser escrupulosamente respeitadas pois o mau dimensionamento do tanque impossibilitará a sua utilização, existindo uma relação direta entre o comprimento do barco e o do tanque.

Este tipo de embarcações, a remos, existem há milhares de anos e até aos dias de hoje sofreram alterações na tentativa de aperfeiçoar o seu manuseamento e movimento sobre a água, tornando-as cada vez mais rápidas. Em termos históricos, este tipo de embarcação foi fundamental para o domínio dos mares e dos povos, nomeadamente por parte dos romanos e dos *vikings*, que as utilizaram como instrumento de guerra e como meio de transporte de mercadorias, permitindo o desenvolvimento das trocas comerciais entre os diferentes povos. [2]

Atualmente, em termos desportivos, podem-se encontrar três tipos de embarcações quando se fala da sua lotação. Existem barcos para 2, 4 ou 8 tripulantes. Embora as embarcações possam apresentar um lugar para o timoneiro, no caso do nosso projeto isso torna-se irrelevante pois não é necessária a existência desse lugar específico para o treino *indoor*.

Segundo o regulamento da Federação Portuguesa de Remo, as embarcações mais utilizadas são as que se apresentam na Tabela 1, e neste trabalho ir-se-á projetar o tanque tendo em conta uma embarcação do tipo “YOLLE 8”. [5]

| Embarcação  | Comprimento máximo metros | Boca total mínima metros | Pontal mínimo metros | Peso mínimo Kg | Características do casco               |
|-------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|----------------|--|
| YOLLE 4     | 10,50                     | 1,05                     | 0,38                 | 90             | Trincado com sete tábuas de cada lado. |
| YOLLE 8     | 14,50                     | 1,15                     | 0,42                 | 150            | Trincado com sete tábuas de cada lado. |
| YOLETA C4x+ | 11,00                     | 0,78                     | 0,40                 | 80             | Liso com quilha saliente               |

Tabela 1 - Características das várias embarcações. [5]

## 1.2 – O remo

O remo é o “acessório” mais importante neste desporto, pois é com ele que os atletas realizam o movimento que força o barco a deslizar sobre a água. É com o arrastar do remo através da água que o barco se movimenta, permitindo o seu deslizamento sobre a massa de água.

Quando se pretende escolher um remo deve-se ter em conta as suas duas categorias, ou seja, remo de “Ponta” e remo de “Parelhas”, que posteriormente se apresenta no desenvolvimento do trabalho. Como é possível observar na Figura 1, o remo é constituído por cinco partes distintas mas quando comparadas as duas categorias somente diferem no seu comprimento absoluto.

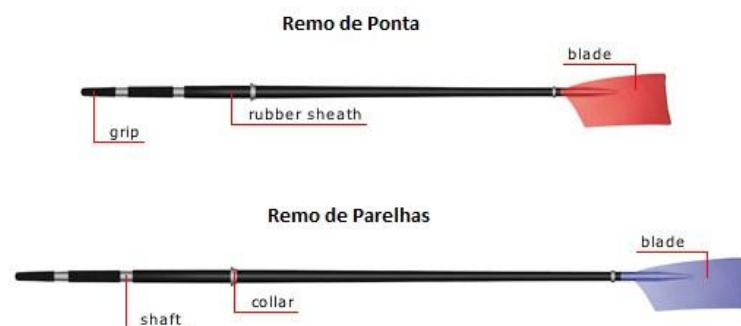


Figura 1 - Imagem representativa das várias partes do remo [6]

Das várias partes do remo apresentadas na figura anterior, a mais importante é a *blade*, conhecida por pá, já que, para além de existirem várias opções, uma sua escolha correta permitirá ao atleta tirar um maior rendimento do remo.

Para além da escolha da pá, o comprimento do remo é outro dos fatores que influenciam o movimento do remo na água. Por norma, quanto maior é o remo maior é a velocidade que o barco atinge.

O comprimento ideal do remo depende do tipo de pá, do estilo da remada e do tamanho do remador. Assim, podemos ter remos de vários comprimentos.

Na Tabela 2 é possível observar os diferentes tamanhos dos remos normalmente utilizados nas provas. O comprimento do remo é um dos fatores mais importantes na conceção deste projecto, pois irá influenciar diretamente a largura do tanque. [7]

| Tipo Barco | Comprimento Remo (m) | Interior Remo (m) | Exterior Remo (m) |  |
|------------|----------------------|-------------------|-------------------|--|
| 1×         | 2.88                 | 0.88              | 1.78              |  |
| 2×         | 2.88                 | 0.88              | 1.78              |  |
| 4×         | 2.89                 | 0.875             | 1.795             |  |
| 2–         | 3.72                 | 1.16              | 2.29              |  |
| 4–         | 3.73                 | 1.15              | 2.31              |  |
| 8+         | 3.73                 | 1.14              | 2.32              |  |

**Legenda:**

**X** – Categoria Ponta

**-** - Categoria Parelhas sem Timoneiro

**+** - Categoria Parelhas com Timoneiro

Tabela 2 – Características dos Barcos [2]

### 1.3 – Variantes do remo

Um praticante de remo, quando compete ou treina tem que escolher entre duas categorias: parelha ou ponta. O que as diferencia é o número de remos que cada atleta utiliza. Quando se compete na categoria de ponta, cada atleta terá apenas um remo para realizar o movimento do barco.

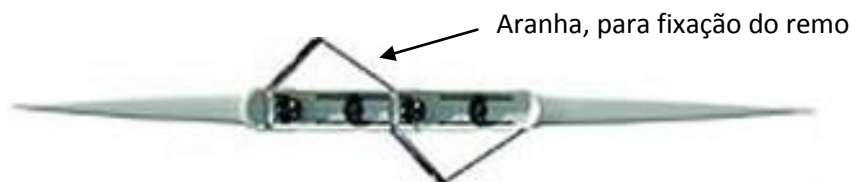


Figura 2 - Barco Ponta [8]

Já quando se compete em pares, cada um dos atletas terá que remar em simultâneo com dois remos, embora estes sejam mais pequenos. ([8],p.46)

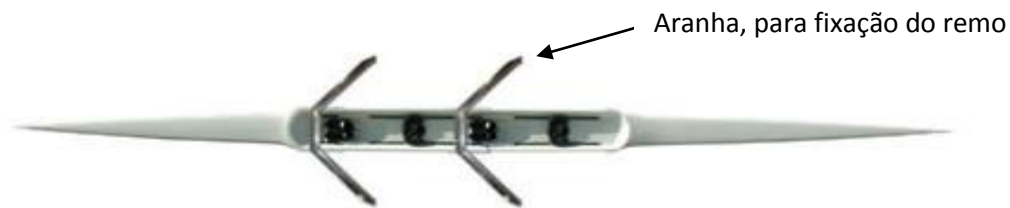


Figura 3 - Barco Parelhas [8]

#### 1.4 – Área de trabalho e os seus componentes

*Secher e Volianitis* (2007) afirmam que só com a área de trabalho bem definida é possível realizar este desporto com grande eficácia. Na Figura 7, mais tarde apresentada, é possível ver os vários componentes e as diferentes distâncias a que esta área necessita de obedecer.

Mas para que se possa ter uma melhor perceção dessa figura, ir-se-á primeiro fazer uma pequena introdução sobre os componentes mais importantes existentes num barco de competição a remos.

A forqueta (*Oarlock*) é o instrumento que permite que o remo esteja sempre bem posicionado, e que possibilita o movimento deste. Este componente consiste num pino, numa porca superior, numa porca inferior e num espaçador. O pino tem como função posicionar e segurar a forqueta ao dispositivo que será ligado à parte lateral do barco. As dimensões da forqueta dependem do diâmetro do remo, pois a sua correta escolha está dependente desse parâmetro. [9]



Figura 4 – Forqueta [9]

Outro dos componentes é o *Slide*, banco deslizante onde é permitido ao atleta sentado deslizar sobre um suporte, e assim realizar o movimento do remo com as mãos. Os assentos são realizados para 3 diferentes suportes (1.75, 2.25 e 3.25 cm), e podem ser em carbono de maneira a diminuir o peso e aumentar a sua durabilidade. [10]



Figura 5 – Slide [10]



Por fim temos o Finca-Pé (*Footstretchers*), suporte ajustável onde os pés dos remadores estão seguros. Este instrumento é bastante resistente, o que possibilita uma transferência de energia eficaz quando os atletas aplicam a força nos pés inerente à realização do movimento mais importante do remo. Os finca-pés são ajustáveis de 3 formas: para cima e para baixo, para a frente e para atrás e para diferentes inclinações. Daí as suas dimensões estarem dependentes das características de cada atleta. [11]



Figura 6 - Finca-Pé [11]

Embora este tipo de embarcação seja constituída por mais componentes, apenas os apresentados anteriormente nos interessam, pois serão apenas estes os utilizados no anteprojeto a realizar.

Após esta breve caracterização de alguns dos componentes, ir-se-á passar a especificar algumas das dimensões mais importantes para o correto anteprojeto do tanque.

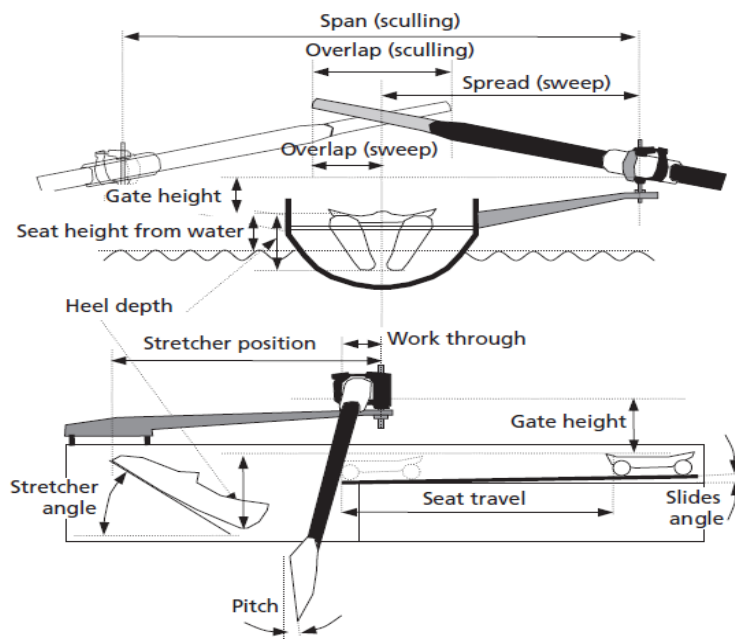


Figura 7 - Área de Trabalho [3]

Para começar, ir-se-á apresentar a *gate height* que consiste na altura entre a parte do assento do *slide* e a forqueta. Esta varia entre os 14 e os 19 cm dependendo da altura do remador.

Outra das dimensões importantes num barco a remos é a *heel depth*, que é a distância entre a parte superior do slide e o calcanhar do atleta que se encontra “preso” no finca-pé. Esta medida varia entre os 15 e os 22 cm, devido às diferentes proporções dos atletas.

Já a *spread (sweep)*, distância específica da categoria de ponta, é a medida desde o centro do barco até à forqueta. Este valor pode variar entre os 15 e os 20 cm. No entanto, no caso de se realizar um tanque para pares utilizáramos o *span (sculling)*, sendo para este o dobro do *spread*.

Por último, tem-se o comprimento do *seat travel*, ou seja, a viagem do slide, que varia entre os 60 e 65 cm, e a distância entre a forqueta e a ponta do pé do atleta (*Stretcher Position*), podendo esta variar entre os 50 e os 60 cm. [2]

### 1.5 – Tanques

Originalmente, o surgimento deste tipo de tanques deveu-se à necessidade dos treinadores comunicarem, em treino, mais facilmente com os seus atletas, possibilitando a estes um melhoramento na sua técnica de remada.

Por outro lado, o surgimento deste tipo de tanque permitiu que os atletas passassem a treinar durante todo o ano sem paragens, devido ao mau tempo, e de uma forma mais aproximada da realidade.

Após alguma pesquisa pode-se constatar que projetos deste tipo se encontram espalhados um pouco por todo o mundo, apesar de em Portugal estes tanques ainda se encontrarem em fase de desenvolvimento. Daí considerar-se este projeto bastante importante para o contexto do remo nacional.

Um desses exemplos é o tanque realizado pela *Durham Boat*, empresa líder de vendas deste tipo de tanques nos Estados Unidos da América, que, embora sejam um pouco “antiquados” em relação à realidade atual, apresentam características importantes para o desenvolvimento deste tipo de projetos. De uma forma geral, este tipo de tanque é desenhado com o intuito de minimizar o volume de água a ser empurrado pelo remo e da diminuição do atrito sobre as paredes do tanque. Como é possível constatar na Figura 8, temos duas piscinas com um espaço entre elas onde até 8 atletas, em fila, farão o seu treino. Esta configuração dá ao tanque uma grande versatilidade já que permite a prática das duas variantes do remo, pares e de ponta. Daí cada lugar do tanque ser composto por uma forqueta de cada lado. [12]



Figura 8 - *Durham Boat Tank* [12]

Das várias soluções apresentadas por esta empresa para o melhoramento do tanque as que oferecem maior reflexão são:

- Para diminuir a carga sobre os remos, a *Durham Boat* posiciona a pá de cada remo o mais perto possível da parede (relativamente ao lugar do remador) pois assim este entrará mais rápido na água e arrastará menos água.

- Para diminuir o atrito produzido pelas paredes na água utiliza superfícies lisas e cantos arredondados.

Apesar dos aspetos positivos apresentados anteriormente são de referir, no entanto, algumas desvantagens como o facto de não ser bombeado e o custo do produto. [12]



Figura 9 - *Durham Boat Tank* – vista do atleta [12]

Outro dos exemplos, este sim mais actual, é o projecto realizado pela Peterson Architects para a *State Washington University*. Embora a informação seja muito escassa, através da Figura 10 pode-se constatar que o projeto consiste em duas piscinas paralelas com um grande espaço entre elas. Nesse espaço encontram-se duas filas de remadores, sendo que cada uma delas apenas rema para um dos lados, ou seja, os atletas que se encontram à direita apenas remam na piscina da direita e os da esquerda apenas remam na piscina da esquerda.



Figura 10 - *Washington State University* – Tanque de Remo [13]

Entre essas duas filas existe um corredor que permite aos atletas um fácil acesso aos seus *slides*. Cada fila é composta por 8 postos. Em ambas as piscinas a água é bombeada, tendo uma

velocidade ideal de bombeamento de 5 m/s. Embora seja um projeto que se enquadra na perfeição com o desejado, o seu valor de execução é um dos grandes entraves.

Para além deste exemplo, a *Peterson Architects* tem vários outros projetos que consistem praticamente no mesmo modelo, como, por exemplo, o da *Wisconsin University*. [13]

## Cap.2 - Escoamentos com superfície livre

Depois de adquiridos os principais fundamentos da prática do remo e realizada a pesquisa necessária a este anteprojeto, segue-se a apresentação de um estudo sobre o comportamento do fluido dentro do tanque, adaptando-o às várias possibilidades existentes e tendo sempre em conta o espaço em que o tanque vai ser implementado e os limites mínimos para que o tanque proposto não fique impraticável.

Para Novais-Barbosa (1985) os escoamentos com superfície livre “... constituem uma importante subdivisão dos escoamentos interiores e são caracterizados por a corrente líquida, parcialmente confinada por paredes sólidas, contactar sempre com um meio exterior gasoso que geralmente é a atmosfera. A superfície em contacto entre os dois meios fluidos é designada por superfície livre, sendo de salientar que ao longo dela as pressões se mantêm constantes e iguais às exercidas pelo meio gasoso (no caso mais frequente, a pressão atmosférica). As paredes sólidas que limitam o escoamento constituem um canal.”

Quando se estuda um escoamento deste tipo, a primeira coisa a fazer é perceber qual a sua variação relativamente ao tempo e, quando este é independente do tempo, a variação da velocidade média de escoamento ao longo do canal. Daí distinguir-se os escoamentos em não permanentes, permanentes variados ou uniformes.

Em todas estas variantes do escoamento, deve-se considerar a secção do escoamento, também conhecida por “superfície molhada”, apenas a área que é limitada pela superfície livre e pela parte da parede que se situa abaixo da superfície livre. Assim sendo, na Figura 11, podemos dizer que a sua secção molhada é toda a área do canal situada abaixo da superfície livre.

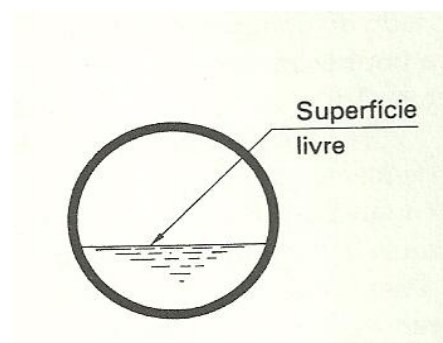


Figura 11 – Superfície livre [14]

O regime permanente uniforme estabelece-se quando a secção do escoamento e o caudal forem constantes no tempo. Para a secção ser constante é necessário que o talvegue, lugar geométrico constituído pelos pontos que se situam na cota mais baixa do canal, seja paralelo à superfície livre. Este regime só é possível de verificar em canais prismáticos, ou seja, em secções constantes e com o fundo retilíneo, com características invariáveis, como, por exemplo, a rugosidade.

Já no regime permanente variado admite-se que a velocidade média não se mantém constante ao longo do canal. Assim, apenas se podem encontrar casos em que o caudal é constante e a secção variável ou o caudal variável e a secção também variável. Um terceiro caso, caudal variável e secção constante, não tem realização prática neste tipo de escoamento, pois uma modificação do caudal necessita do desvio de algum do caudal.

Por último, os escoamentos não permanentes ocorrem quando há uma variação tanto da secção como do caudal, pois a alteração de uma destas características arrasta necessariamente a variação da outra ([14],664-665).

## 2.1 - Tipos de secção

Para encontrar o tipo de secção do canal de superfície livre que melhor se enquadra no que se pretende, sem pôr em causa a funcionalidade do tanque, realizou-se um estudo que visa encontrar, de entre as secções regulares mais habituais, a que mais se adequa.

As secções trapezoidais, retangulares e triangulares são as secções mais comuns em canais, sendo as suas características geométricas definidas pela geometria da secção do canal e pela profundidade, que são as propriedades da secção.

Na Figura 12 apresentam-se as várias características geométricas que habitualmente são consideradas quando se estuda uma secção de um escoamento com superfície livre.

A profundidade ou altura da água na secção  $h$  é a distância medida na secção do canal segundo a linha de maior declive, entre o fundo da secção e a superfície livre. Também podemos considerar  $h$  como a altura ou profundidade de água no canal, que é a distância vertical entre o ponto mais fundo na secção considerada e a superfície livre. A área da secção transversal do escoamento  $S$  é a área da secção normal aos filetes líquidos. Já o perímetro molhado  $P$  é o comprimento da curva de intersecção da secção do escoamento com a superfície de contacto entre as paredes sólidas e o líquido, isto é, a curva segundo a qual o líquido contacta com as paredes sólidas na secção. Por fim, também consideramos  $L$  como a largura superficial do escoamento.

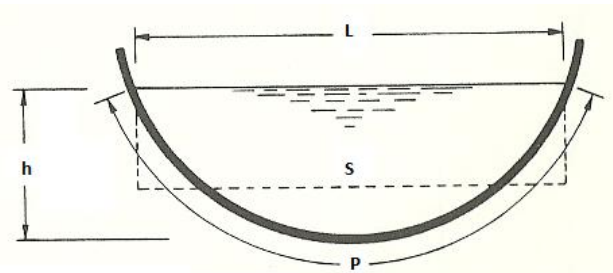


Figura 12 - Características geométricas da secção de um canal [14]

Para além destas características geométricas também se consideram outras dependentes das anteriores. É o caso do raio hidráulico  $R$ , que consiste no quociente entre a área da secção transversal e o perímetro molhado, ou seja,

$$R = \frac{S}{P}$$

([14],667-668), e do diâmetro hidráulico,  $D$ , que é 4 vezes o raio hidráulico pois considera-se que este último é igual a metade do raio geométrico da secção. ([14],491)

Como anteriormente foi possível ver, quando se trata de secções regulares é possível escrever relações analíticas simples entre as diferentes características geométricas e a altura da água ou outros parâmetros representativos das secções. Daí poderem apresentar-se as várias expressões aplicáveis a secções retangulares, trapezoidais e triangulares.

### 2.1.1. – Secção retangular

Em canais de secção retangular temos:

$$S = Lh$$

$$P = L + 2h$$

$$R = \frac{h}{1 + 2\left(\frac{h}{L}\right)}$$

Através destas funções pode constatar-se que em canais de grande largura, ou seja, de largura muito maior que a profundidade, a relação entre a profundidade e a largura terá um valor muito pequeno o que fará com que o raio hidráulico seja sensivelmente igual à profundidade da água.

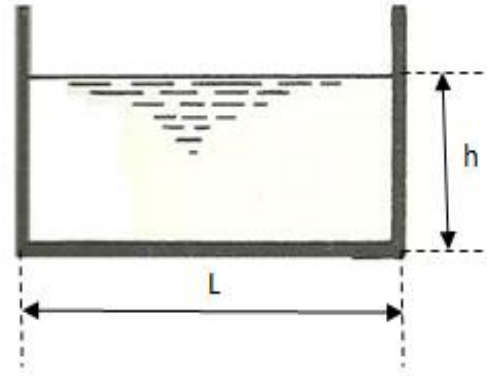


Figura 13 - Características geométricas da secção retangular [14]

### 2.1.2. – Secção trapezoidal

Considerando  $l$  a largura do fundo do canal e  $m$  o declive dos taludes laterais, as expressões gerais são:

$$m = \tan \theta$$

$$l = L - \frac{2h}{m}$$

$$S = \left(l + \frac{h}{m}\right)h$$

$$P = l + \frac{2h}{m}\sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{ml + h}{ml + 2h\sqrt{m^2 + 1}}h$$

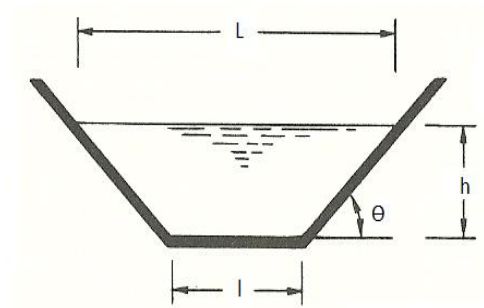


Figura 14 - Características geométricas da secção trapezoidal [14]

### 2.1.3. – Secção triangular

Para a secção triangular simétrica, consideramos as mesmas expressões da secção trapezoidal mas sem ter em conta a largura do fundo do tanque pois esta é nula.

$$L = \frac{2h}{m}$$

$$S = \frac{h^2}{m}$$

$$P = \frac{2h}{m} \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{h}{2\sqrt{m^2+1}}$$

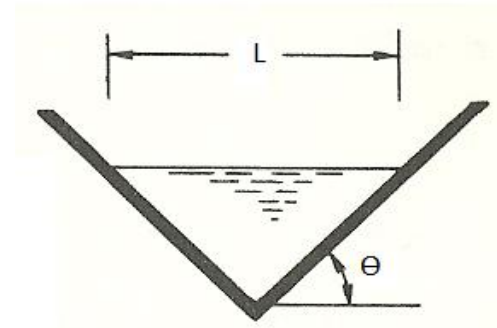


Figura 15 - Características geométricas da secção triangular [14]

O conhecimento desta relação permite adquirir a informação das várias secções de uma forma rápida e sucinta, facilitando e simplificando o trabalho subsequente. [14]

## 2.2 – Número de *Reynolds* ( [15],163-164)

Para Lencastre, “Os escoamentos com superfície livre, como os escoamentos em pressão, continuam a ser caracterizados pelo número de *Reynolds*, que traduz a ação das forças de inércia e de viscosidade.”

A expressão geral do número de *Reynolds*, para escoamentos com superfície livre, é

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$$

em que  $U$  é a velocidade média do fluido,  $D$  o diâmetro hidráulico e  $\nu$  a viscosidade cinemática. Para a água a viscosidade cinemática à temperatura ambiente é aproximadamente igual a  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Em escoamentos com superfície livre, o movimento laminar verifica-se para valores do número de *Reynolds* menores que 2000. Para valores maiores de 2000 o escoamento passa a turbulento.

## 2.3 – Altura crítica

A altura crítica é a altura máxima para a qual se pode estabelecer um escoamento, sendo que a essa altura corresponde o máximo caudal que pode escoar na secção.



Segundo Lencastre (1957), para definir altura crítica temos que recorrer à expressão da energia específica,

$$H = h \times \cos \theta + \frac{\alpha U^2}{2g} \approx h + \frac{\alpha U^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2gS^2}$$

onde  $\alpha$  é o fator de correlação da energia cinética, designado por coeficiente de *Coriolis*. Na prática, pode-se dispensar este coeficiente correctivo, fazendo igual à unidade.

Esta equação define, para um secção, uma relação entre  $H$ ,  $h$  e  $Q$ , válida em qualquer tipo de escoamento. Considerando  $Q$  constante e realizando um gráfico, encontra-se uma curva que dá a energia específica  $H$ , em função da altura de água  $h$ .

Com isto, vê-se que para o mesmo caudal e com a mesma energia específica encontram-se duas alturas diferentes de escoamento: uma para regimes rápidos  $h'$ , e outra para os regimes lentos  $h''$ . Mas o que verdadeiramente interessa é que também é possível encontrar o ponto da curva onde o regime é crítico. Logo pode encontrar-se a altura de água correspondente a esse regime crítico.

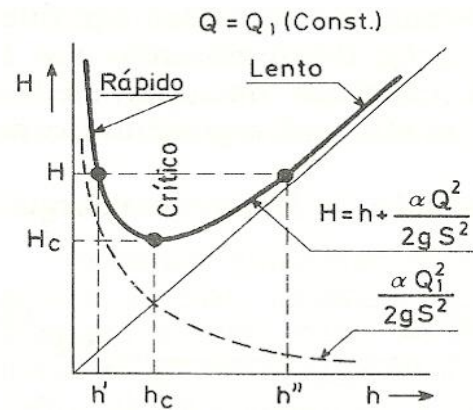


Gráfico 1 - Gráfico Energia Especifica/Altura de água [15]

Para ter esse valor é necessário derivar a função anterior e depois igualar a zero.

$$\frac{dH}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{gS^3} \frac{dS}{dh} = 0$$

Considerando  $L$  a largura superficial, tem-se  $dS = Ldh$ . Daí a equação geral que traduz o estado crítico seja,

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = S \sqrt{\frac{S}{L}}$$

pois o estado crítico corresponde ao mínimo de energia necessário para que determinado caudal escoe numa secção, ou ao máximo caudal que, com dada energia, escoar na mesma secção. [15]

### 2.3.1. – Secção retangular

Tendo em conta a equação geral que traduz o estado crítico vai-se simplificar a fórmula e adaptá-la às características geométricas das diferentes secções. Sabendo que:

$$S = L \times h_c$$

vem que:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{\sqrt{g}} &= S \sqrt{\frac{S}{L}} \Leftrightarrow \frac{Q}{\sqrt{g} \times S} = \sqrt{\frac{S}{L}} \Leftrightarrow \left( \frac{Q}{\sqrt{g} \times S} \right)^2 = \frac{S}{L} \Leftrightarrow \left( \frac{Q}{\sqrt{g} \times L \times h_c} \right)^2 = h_c \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{L^2 \times g}} \end{aligned}$$

### 2.3.2. – Secção trapezoidal

Já para a secção trapezoidal vem:

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = S \sqrt{\frac{S}{L}} \Leftrightarrow \frac{U}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{S}{L}}$$

uma vez que,  $Q = S \times U$ .

Então vem,

$$\frac{U}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{\left(l + \frac{h_c}{m}\right) h_c}{L}} \Leftrightarrow \frac{U^2}{g} = \frac{\left(l + \frac{h_c}{m}\right) h_c}{L} \Leftrightarrow h_c^2 \left(\frac{1}{m}\right) + h_c l - \frac{L(U^2)}{g} = 0$$

sendo  $h_c$  a solução uma equação de segundo grau.

Logo  $h_c$  será igual a

$$h_c = \frac{-l + \sqrt{l^2 + 4 \left(\frac{1}{m}\right) \left(\frac{L(U^2)}{g}\right)}}{2 \left(\frac{1}{m}\right)}$$

Como a outra solução da equação de segundo grau é negativa, não é considerada.

### 2.3.3. – Secção triangular

Por fim, a equação da altura crítica em secções triangulares é:

$$\frac{U}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{S}{L}} \Leftrightarrow \frac{U}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{h_c^2}{m \times L}} \Leftrightarrow h_c = \sqrt{\frac{U^2 \times m \times L}{g}}$$

### Cap.3 – Escoamento em condutas

Neste capítulo será apresentada a informação necessária para entender o comportamento de um fluido quando este escoar dentro de uma conduta fechada.

Para Novais-Barbosa (1987), um escoamento sob pressão “verifica-se no interior de uma conduta, ocupando o fluido em movimento toda a secção da mesma, sem contacto com o meio exterior, a não ser em eventuais pontos isolados. A pressão que o fluido exerce sobre as paredes da conduta é, em geral, diferente da pressão atmosférica em todos os pontos”. (p.483)

Para caracterizar este tipo de escoamentos considera-se uma entrada de uma conduta vinda de um reservatório, podendo-se dizer que a velocidade é praticamente constante em toda a secção do escoamento. Mas com o desenvolvimento da camada limite, são criadas duas zonas distintas separadas por uma superfície de revolução coaxial com o tubo. Desde a parede até à referida superfície, o escoamento tem as características da camada limite. Já a zona central continua a ter as características da entrada da conduta. Após algum tempo, dá-se a fusão da camada limite,  $S_e$ , passando a verificar-se um movimento do tipo da camada limite em todo o interior da conduta. Diz-se então que se tem um escoamento estabelecido, ou desenvolvido.

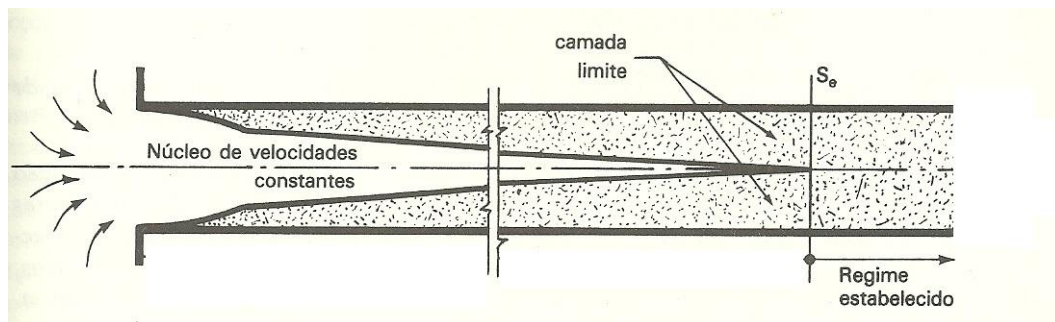


Figura 16 - Zonas do escoamento a jusante da secção de entrada [14]

Com isto, os perfis de velocidade média também vão sendo modificados até se atingir a secção de estabelecimento do escoamento. Na secção de entrada, a velocidade média é constante, mas com o desenvolvimento da camada limite o perfil da velocidade média altera-se originando duas zonas distintas, a central onde a velocidade é constante e a periférica onde a velocidade é variada. Daí poder dizer-se que o perfil de velocidade é um perfil simétrico em que se verifica sempre um crescimento da velocidade desde a parede até ao eixo, crescimento esse que é, no entanto, mais acentuado na vizinhança da parede como é possível constatar na Figura 17. [14]

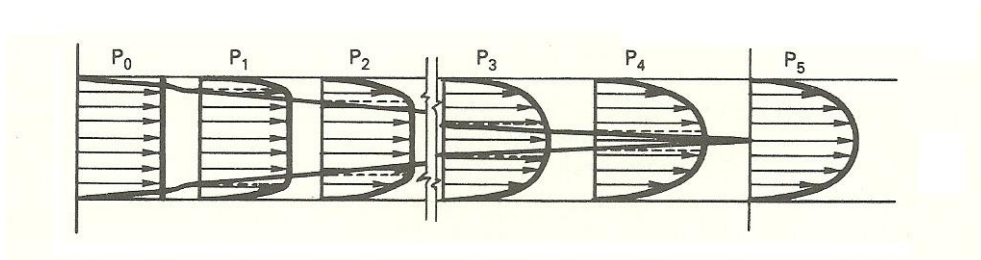


Figura 17 - Perfis de Velocidades [14]

### Cap.3.1 – Equação da continuidade

Para Novais-Barbosa (1985) "... a equação de continuidade, ou de conservação da massa, traduz a propriedade geral de conservação de massa e escreve-se sob a forma de equação de balanço aplicada a uma superfície de controlo,  $S$ , fixa relativamente a um sistema de eixos de referência, limitando um volume de controlo,  $V$ ." (p. 57).

Considerando um trecho de um tubo de fluxo de comprimento infinitesimal,  $ds$ , limitado por duas secções transversais,  $S_1$  e  $S_2$ , a variação da massa de fluido existente no interior do volume,  $dV$ , limitado por estas duas secções e pela superfície lateral, é devida à diferença entre a quantidade de fluido que entra no volume elementar pela secção  $S_1$  e a quantidade que sai pela secção  $S_2$ , já que através da superfície lateral não há passagem de partículas fluidas.

Daí o aspeto geral da equação de continuidade aplicada a um tubo de corrente ser igual a

$$\frac{d(\rho Q)}{ds} + \frac{d(\rho S)}{dt} = 0$$

Tendo em conta a expressão anterior e considerando o fluido incompressível, pode-se transformá-la em

$$\frac{dQ}{ds} + \frac{dS}{dt} = 0$$

Ao considerar um movimento permanente, pode simplificar-se ainda mais a expressão, passando esta a ser igual a

$$\frac{dQ}{ds} = 0$$

isto é,

$$Q = US = \text{constante}$$

Considerando agora o escoamento permanente dentro de um tubo, como se pode ver na Figura 18, e aplicando a equação da continuidade às secções  $S_1$  e  $S_2$  tem-se que

$$S_1 \cdot U_1 = S_2 \cdot U_2$$

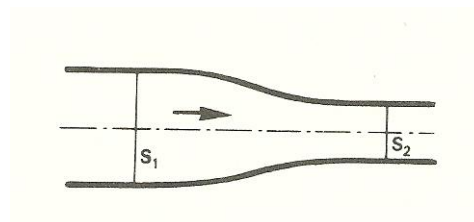


Figura 18 – Aplicação da equação de continuidade a um escoamento no interior de um tubo [9]

Esta equação é aplicada tanto em escoamento em condutas, como em escoamento com superfície livre. [14]

## Cap.4 – Perdas de carga

### 4.1. – Escoamento com superfície livre

#### 4.1.1 - Perdas de carga contínuas

Segundo Novais-Barbosa (1985), a fórmula de resistência ao escoamento tem como expressão geral:

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{U^2}{2g}$$

onde  $L$  é a distância das secções entre as quais se considera a perda de energia  $\Delta H$ , sob a forma de uma altura de perdas,  $R$  é o raio hidráulico,  $U$  a velocidade média do escoamento e por fim  $\lambda$  o coeficiente de resistência.

Em relação ao coeficiente de resistência pode afirmar-se que este é função dos números de *Reynolds*, de *Froude*, dos parâmetros de rugosidade e da geometria do escoamento

$$\lambda = \lambda \left( \frac{4UR}{\nu}; \frac{U^2}{4gR}; \frac{k_1}{4R}; \frac{k_2}{4R}; \dots; \frac{k_n}{4R} \right)$$

Visto o escoamento ser considerado turbulento não é possível atingir uma precisão muito elevada, pois relativamente às equações dos perfis de velocidade o conhecimento do mecanismo do escoamento não se encontra ainda suficientemente aprofundado. Daí que, em escoamento com superfície livre, as fórmulas de resistência mais utilizadas continuem a ser a fórmula de *Chézy* (1775) e *Manning-Strickler* (1923). [14]

#### Fórmula de *Chézy* ([14],p.677-678)

De maneira a poder utilizar a formula de *Chézy*, transforma-se a expressão geral da resistência em

$$U = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \cdot \sqrt{R \frac{\Delta H}{L}}$$

já que

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

Assim sendo, a fórmula de *Chézy* passa a

$$U = C \sqrt{R \frac{\Delta H}{L}} \Leftrightarrow \frac{\Delta H}{L} = \frac{1}{R} \left( \frac{U}{C} \right)^2$$

Após esta simplificação da fórmula da resistência, apenas falta saber como descobrir o valor da constante  $C$ . Deste modo, é necessário recorrer a expressões auxiliares, sendo que neste caso se utilizou a fórmula de *Bazin* (1897).

**Fórmula de *Bazin*** ([14],p.678-679)

A expressão geral é:

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{C_B + \sqrt{R}}$$

em que  $C_B$  é um coeficiente cujo valor depende da natureza das paredes:

Canais de betão liso -  $C_B = 0.06 \, m^{\frac{1}{2}}$ ;

Canais de betão não alisado ou alvenaria muito regular -  $C_B = 0.16 \, m^{\frac{1}{2}}$ ;

Canais de terra muito regular ou alvenaria regular -  $C_B = 0.45 \, m^{\frac{1}{2}}$ ;

Canais de terra irregular ou alvenaria irregular -  $C_B = 0.85 \, m^{\frac{1}{2}}$ ;

Canais de terra irregular com vegetação, cursos de água regulares em leitos rochosos –  $C_B = 1.30 \, m^{\frac{1}{2}}$ ;

Canais de terra em más condições com vegetação no fundo e nas margens, ou curso de água sobre calhaus -  $C_B = 1.75 \, m^{\frac{1}{2}}$ .

#### 4.1.2 – Teorema de *Bernoulli*

Quando se estuda um escoamento é habitual encontrar dificuldades, pois as equações gerais do movimento são, muitas vezes, difíceis de aplicar aos problemas práticos correntes. Daí recorrer a relações mais simples que permitem quantificar parâmetros importantes relativos ao escoamento. Uma dessas relações é a equação de *Bernoulli*.

Nos escoamentos permanentes todas as derivadas em ordem ao tempo são nulas e a equação de *Bernoulli* simplifica-se para

$$\frac{d}{ds} \left( z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right) = - \frac{\Delta H}{L}$$

Como é um escoamento com superfície livre na horizontal, podemos adaptar a equação anterior às suas características. Daí a equação se transformar em

$$\Delta H = z_1 + y_1 + \frac{U_1^2}{2g} - \left( z_2 + y_2 + \frac{U_2^2}{2g} \right)$$

podendo ser aplicada não só à massa líquida que atravessa duas seções,  $S_1$  e  $S_2$ , mas também às características do escoamento.  $\Delta H$  é a energia dissipada na forma de uma altura de perdas, por unidade de peso e por unidade de percurso, pelas forças resistentes.

Tendo em conta a equação anterior e considerando que o escoamento é feito no mesmo plano ( $z_1=z_2$ ), que o escoamento é uniforme ( $U_1=U_2$ ), ficamos a saber que

$$\Delta H = y_1 - y_2$$

onde  $\Delta H$  é a perda de carga uniforme (contínua).

Através da equação anterior, pode-se saber qual a diferença de alturas do fluido desde a secção inicial do escoamento até à secção final. [14]



## 4.2. – Escoamentos em condutas

### 4.2.1 - Perdas de cargas contínuas em condutas de secção não circular

*R.Gerard* e *W.Baines* (1977) afirmam que para configurações próximas da circular, o coeficiente de resistência pode ser determinado a partir das equações estabelecidas para a secção circular, substituído, como anteriormente já foi apresentado, o diâmetro pelo quádruplo do raio hidráulico. Já para configurações muito distantes das anteriores tem que se considerar a influência da forma da secção.

Quando é necessário calcular as perdas de carga contínuas dentro de uma conduta, normalmente, recorre-se a equação de *Darcy-Weisbach* (1850).

Tendo como equação geral

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g}$$

e sabendo que  $\Delta H$  é a perda de carga na forma de uma altura de perdas,  $f$  o fator de resistência,  $D$  o diâmetro hidráulico da secção e  $L$  o comprimento da conduta, é possível calcular o valor da perda de carga. Para tal é necessário determinar o fator de resistência, que é dependente do número de *Reynolds* e da rugosidade relativa. Este fator é possível de determinar através de várias equações, tendo em conta o diagrama de *Moody* (ver anexo 1), que demonstram a influência que as paredes exercem na passagem do escoamento, tanto em regime laminar como em regime turbulento.

Em regime laminar, o fator de resistência é independente da rugosidade relativa sendo unicamente em função do número de *Reynolds* e tendo como expressão

$$f = \frac{64}{Re}$$

Já em regime turbulento em tubos lisos, encontram-se várias equações que traduzem o valor do fator de resistência. Para tubos lisos tem-se a equação de *Nikuradse* (1932) dada para valores de  $Re > 10^5$ .

$$f = \frac{0.221}{Re^{0.237}} + 0.0032$$

Já a equação de *Karman-Prandtl* (1935), cujos valores se aproximam muito dos dados pela fórmula de *Nikuradse*, também é considerada valida para valores de  $Re > 10^5$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10}(Re \sqrt{f}) - 0.8$$

Por último, a equação de *Blasius* (1911) que apresenta uma estrutura bastante mais simples

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

Como neste caso se está na presença de um escoamento turbulento dentro de uma conduta, utilizar-se-á a equação de *Nikuradse*, pois é a equação mais utilizada nestes casos. Na Tabela seguinte apresentam-se os valores do fator de resistência correspondentes a certos números de *Reynolds*. [15,16]

| <i>Re</i> | 4000   | 10 <sup>4</sup> | 10 <sup>5</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>7</sup> | 10 <sup>8</sup> |
|-----------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>f</i>  | 0.0399 | 0.0309          | 0.0180          | 0.0116          | 0.0081          | 0.0059          |

Tabela 3 - Fator de resistência – Equação de Nikuradse [16]

#### 4.2.2. – Perdas de carga localizadas

Para além das perdas de carga contínuas anteriormente apresentadas, existem perdas de carga correspondentes aos regimes variados que se estabelecem em trechos de curta extensão e que são devidos a alterações bruscas das condições do movimento, geralmente associadas a variações bruscas da geometria do escoamento.

As perdas de carga referidas são as perdas de cargas localizadas. Podem exprimir-se sob a fórmula:

$$\Delta H_L = K \frac{U^2}{2g}$$

onde *K* representa o coeficiente de perda de carga localizada que depende do número de *Reynolds* e sobretudo da geometria da zona onde ocorre a perda.

Logo, no anexo 2, são apresentados os casos que serão utilizados neste estudo no que concerne às perdas de carga localizadas.

Para finalizar, a perda de carga total a vencer é a soma das perdas de cargas contínuas e localizadas a que se encontra sujeito o escoamento, ou seja

$$\Delta H_{Total} = \Delta H_{Cont.} + \Delta H_{Local.} [15]$$

## Cap.5 – Bombas

A função da bomba é converter a energia mecânica em energia hidráulica, empurrando o fluido no sistema. As bombas são fabricadas em vários tamanhos e formas, mecânicas e manuais, com diversos e complexos sistemas mecânicos de bombeamento e para várias aplicações. Todas as bombas, entretanto, são classificadas em uma de duas categorias básicas: hidrodinâmicas ou hidrostáticas.

### Bomba hidrodinâmica

Na bomba hidrodinâmica, o fluido é absorvido de um depósito onde este se encontra em repouso adquirindo inicialmente movimento dentro da bomba. Após essa velocidade considerável, este é logo submetido a uma redução desta, geralmente através da desaceleração induzida pelo aumento da área de passagem, permitindo-lhe adquirir pressão e vencer as resistências. Exemplos típicos deste tipo de bombas são as bombas centrífugas e as axiais.

### Bomba hidrostática

Neste tipo de bomba o fluido adquire o movimento e a pressão sem sofrer nenhuma alteração de velocidade dentro da bomba, já que é simplesmente aspirado e forçado a mover-se, qualquer que seja a pressão a vencer. Este fator é que a torna mais adequada para transmissões de força. [17]

#### 5.1. – Perdas de carga

Quando se fala em perdas de carga numa tubulação está a ser referida a energia perdida pela água no seu deslocamento. Essa perda de energia é normalmente provocada pelo atrito entre a água e as paredes da tubulação. Logo quando se está a projetar um sistema de bombeamento, deve-se considerar a totalidade dessas perdas de energia.

$$\Delta H_{Total} = \Delta H_{Cont.} + \Delta H_{Local}.$$

Como se sabe, neste caso, o início e o fim do tanque são coincidentes, sem que haja variação de altura, e a perda de carga tem que ser compensada pela bomba para assim garantir o escoamento com a velocidade pretendida.

Em condições reais é o barco e o remador que se movem relativamente à água, e em condições de treino *indoor* é a água (por ação da bomba) que se move em relação ao remador.

Sabendo que a potência útil a fornecer à bomba é

$$\dot{W}_u = \rho \times g \times Q \times \Delta H_{Total}$$

é possível saber qual a potência que a bomba necessita para garantir o movimento da água no tanque. Embora este seja um valor importante, o que nos interessa verdadeiramente saber é a potência consumida pela bomba, pois este será o valor que nos permite calcular o custo de funcionamento do tanque.

Sabendo que a eficiência da bomba é a relação entre a potência útil e a potência consumida, isto é

$$\eta = \frac{\dot{W}_u}{\dot{W}_c}$$

pode-se deduzir a equação da potência consumida, ou seja

$$\dot{W}_c = \frac{1}{\eta} \times \rho \times g \times Q \times \Delta H_{Total}$$

Na Tabela 4 apresentam-se os valores da eficiência habitualmente considerados para as bombas centrífugas,

| Características<br>→ | Baixa Pressão |      | Alta Pressão |      |      | Grandes Caudais |      |      |
|----------------------|---------------|------|--------------|------|------|-----------------|------|------|
| $Q$ (l/s)            | 3             | 25   | 2            | 25   | 100  | 150             | 1000 | 2000 |
| $\eta$               | 0,56          | 0,78 | 0,53         | 0,81 | 0,84 | 0,86            | 0,90 | 0,91 |

Tabela 4 – Valores para a eficiência de bombas centrífugas [15]

Logo, com o valor da potência absorvida, deduz-se qual será o custo de funcionamento deste equipamento, já que sabendo o preço normalmente cobrado pela empresa de distribuição de eletricidade pode-se obter uma estimativa do valor que o cliente terá que pagar para manter a instalação em funcionamento durante um dado período de tempo. [15]

Atualmente, por 1 kW.h paga-se 0.1299 Euros. [18]

## Cap.6 – Estudo de caso

Quando se iniciou este estudo, a primeira tarefa realizada foi contatar a secção de remo do Galitos para saber o espaço disponível pela secção para a implementação do tanque, fator que poderia condicionar o projeto.

Após este primeiro encontro com a secção ficou a saber-se que a ideia seria projetar algo semelhante ao tanque que a *Peterson Architects* construiu para a Universidade de *Washington*. Tendo isto como ponto de partida, pode começar-se a tirar conclusões sobre algumas das características que teria o tanque. Simultaneamente, ficou a conhecer-se o espaço que a secção de remo tem destinado à implementação do tanque. Em termos de comprimento do tanque não haverá limitações, pois o espaço permite projetá-lo com qualquer comprimento, contudo, tem que se limitar a largura a cerca de 12 metros.

Tendo em conta o pretendido pelo Clube do Galitos, realizou-se um primeiro esquisso (ver Anexo 3) sobre como seria o anteprojeto. Este será composto por duas piscinas, tendo cada uma delas uma lotação máxima de 8 atletas. A separar as duas piscinas existirá uma zona que permitirá a colocação dos 16 atletas, em duas filas de 8 remadores, paralelas a cada uma das piscinas, e uma área central que facilitará o acesso à área de treino de cada tanque. Cada fila de atletas remarará para a sua piscina adjacente, ou seja, os remadores da piscina da direita remarão para a sua direita e os remadores da piscina da esquerda remarão para a sua esquerda, isto é, simula-se o treino da categoria de ponta, já que esta configuração apenas permitirá aos atletas utilizar um remo. Esta configuração é definida como a ideal, pois proporciona o treino em simultâneo de uma quantidade considerável de atletas, e permite aos treinadores entrar em contacto com os seus atletas de uma forma mais eficaz para corrigir e auxiliar na execução de algumas deficiências técnicas detetadas no movimento do remo, principal objetivo aquando do aparecimento deste tipo de equipamento. Uma das desvantagens desta configuração é a impossibilidade do treino de remo da categoria de parelha.

### 6.1. – Comprimento do tanque

Com a definição da lotação do tanque pode, automaticamente, obter-se o seu comprimento e para isso apenas é necessário saber que espaço ocupa cada remador. Sabendo a distância que o Slide anda durante a remada e a distância da forqueta ao Fincá-Pé pôde saber-se quanto ocupa cada atleta. Embora não seja um valor exato, pois estes valores variam de atleta para atleta, pôde considerar-se o valor máximo dos valores normais destas distâncias apresentadas no Capítulo 1. Sabendo que durante a remada o slide (*seat travel*) se desloca no máximo 65 cm e que a distância da forqueta ao Fincá-Pé é de 60 cm, pode dizer-se que cada atleta ocupa 125 cm, pois todos os atletas, obrigatoriamente, movimentarão o seu remo em simultâneo, de uma forma sincronizada, tal e qual como acontece quando estes se encontram em prova.

Como o tanque é composto por 8 atletas obtém-se um valor de ocupação total de 10 m. Devido ao movimento do remo tem que se dar uma margem no início e no fim do tanque para que estes atletas possam movimentar os seus remos.

Daí, e tendo em conta a Figura 19, pode-se saber qual a distância necessária no início e no fim do tanque para que o manuseamento do remo no posto inicial e final seja realizado sem que o remo colida com a parede do tanque.

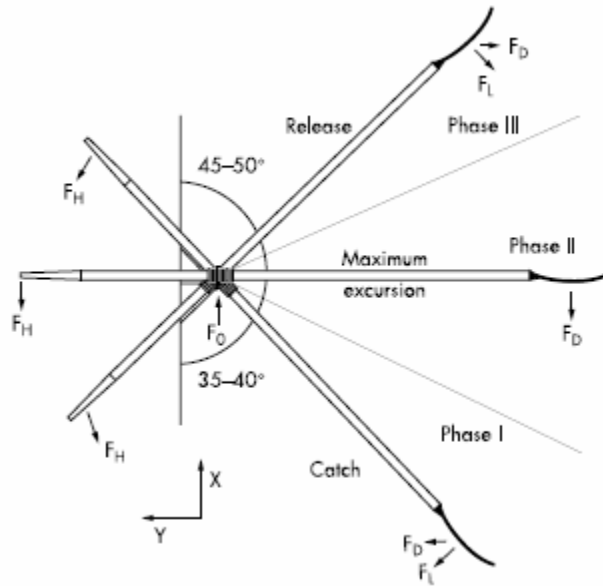


Figura 19- Esquema do movimento do remo [19]

Logo, e sabendo o ângulo que o *oarlock* permite realizar ao remo, pode-se saber qual a distância que o remo percorre. Daí na posição inicial, considerando o remo de maiores dimensões, e tendo em conta a *Phase I* a margem necessária é

$$Margem\ Inicial = \frac{2,32}{\cos(40^\circ)} = 3.03\ m$$

já que o comprimento exterior do remo é igual a 2,32 m, como é possível constatar na Tabela 2.

Na posição final e tendo em conta a *Phase III*, essa margem é igual a

$$Margem\ Final = \frac{2,32}{\cos(50^\circ)} = 3.61\ m$$

Com isto e como é possível ver na Figura 20, o tanque terá um comprimento total de 17 m, tendo uma área de trabalho igual a 10 m, uma margem inicial de 3,20 m e uma margem final de 3,80 m.

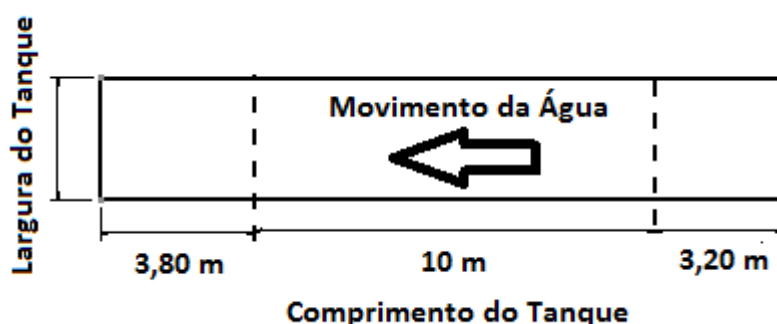


Figura 20 – Configuração do Comprimento do Tanque

Por outro lado, e através da Tabela 2 e da Figura 19 também é possível saber qual a largura que o atleta ocupa na sua área individual de remada quando movimenta o remo. Sabendo que o remo tem um comprimento exterior ao tanque igual a 1,14m, a largura da área de remada será igual a 1,50m. É dada esta folga para precaver incidentes e acidentes entre os atletas dos dois tanques quando estes treinarem em simultâneo.

## 6.2. – Secção do escoamento

Com a definição do comprimento do tanque passou-se à procura da secção do escoamento que melhor se adequa a este anteprojecto. Daí terem sido estudadas as três secções habituais neste caso: as secções retangulares, trapezoidais e triangulares. Começou-se por fazer os cálculos habituais para todas as secções, que são apresentados de seguida.

Na tentativa de realizar um estudo mais completo, variaram-se todos os parâmetros que influenciavam os cálculos das secções para se poder encontrar os valores que melhor se enquadravam. Daí ter-se realizado o estudo tendo em conta intervalos de valores.

Em relação ao intervalo da altura de água considerou-se como valor mais baixo 40 cm e como mais alto 65 cm, dividindo em sub-intervalos de 5 cm. Para saber o valor mais indicado para iniciar o estudo da altura de água, recorreu-se às dimensões de uma pá normalmente utilizada nos remos. Neste caso foi escolhida a maior pá existente no mercado, ver Figura 21. Com isto, pode-se saber qual a altura mínima a considerar, pois a pá, obrigatoriamente, tem que estar completamente imersa em qualquer parte do tanque.

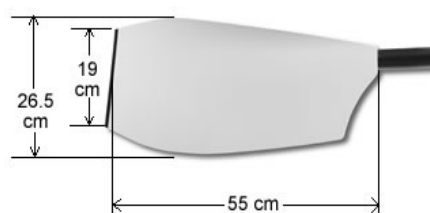


Figura 21- Pá Fat SMOOTHIE [20]

Embora se varie a altura da água, o que interessa saber para o dimensionamento do tanque é a sua altura total. Definindo-a como sendo a soma da altura da água, mais a distância do limite superior da água ao slide (*“seat height from water”*) e a distância do slide a forqueta (*“Gate height”*), como se vê na Figura 7, é possível chegar ao valor exato deste parâmetro. Neste caso, e

tendo em conta a embarcação *YOLLE 8*, apresentada na Tabela 1 no Capítulo 1, o valor a considerar será a altura escolhida de água mais os 42 cm.

Já em relação à largura do tanque, o intervalo será dos 2,5 m aos 5 m, sendo os sub-intervalos de 0,5 m. Para se chegar a estes valores, teve-se em conta a Tabela 2, onde são apresentados os vários remos utilizados pelos remadores. Neste caso, como se utiliza o remo com o comprimento maior, o intervalo inicia-se em 2,5 m pois o comprimento exterior do remo é igual a 2,32 m. Visto que o estudo foi realizado para o remo de maior comprimento, é possível, eventualmente, também utilizar os remos mais curtos neste tanque. Com esta modificação, é dada a possibilidade de diminuir a quantidade de água que escoar no tanque e assim diminuir o custo de funcionamento do tanque. Tal pode ser conseguido através da instalação de taipais limitadores da largura do tanque, sobre toda a altura da água e sobre todo o comprimento do tanque, taipais esses que podem ser montados em furos deixados para o efeito no chão do tanque.

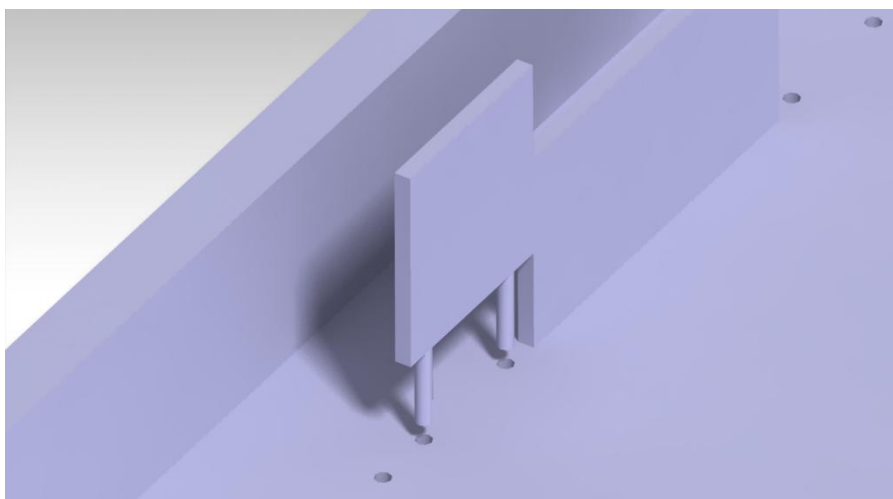


Figura 22 – Ilustração da aplicação dos taipais

Por último, considerou-se 5 m/s a velocidade do escoamento dentro do tanque, já que como é referido no início do trabalho é o valor ideal neste tipo de equipamento.

Após a definição dos intervalos de valores, obtiveram-se as tabelas de resultados (ver Anexo 4) onde são apresentados os valores obtidos nas várias secções. Através delas, pode constatar-se que as diferenças entre as várias secções são quase insignificantes embora a secção retangular apresente os melhores resultados. Em todas estas secções a altura crítica não é um entrave.

Em conclusão, pode dizer-se que a descida da altura de água e da largura do tanque possibilita uma diminuição da secção de escoamento, fator positivo, mas por outro lado, aumenta o valor das perdas de carga, fator negativo. Para além disso, a largura do tanque é o fator que mais influencia estes cálculos.

Por outro lado, é possível constatar que, tanto na secção trapezoidal como na secção triangular, a altura final de água é demasiado baixa para secções de pequenas dimensões, o que



impossibilita a imersão total da pá. Para além disso, em ambas as secções, a realização do movimento correto do remo dentro de água, sem que este colida com as paredes laterais da secção, é outro dos fatores que não pode ser descurado, pois a impossibilidade de manuseamento do remo impossibilita o uso do tanque. Logo, para contrariar este problema, dever-se-ão utilizar as secções de maiores dimensões, principalmente as secções onde a largura do tanque é maior. Infelizmente, como anteriormente é referido, este anteprojecto está limitado em relação à sua largura, logo estas duas secções não se apresentam como sendo as mais ideais.

Tendo em conta tudo isto, abandonaram-se essas duas opções, passando apenas a secção retangular a ser a única opção válida.

Como forma de ultrapassar a falta de opções para a secção do tanque, criou-se uma nova secção que permitisse não só diminuir a secção retangular, como utilizar o conceito das paredes da secção trapezoidal e triangular, referido anteriormente.

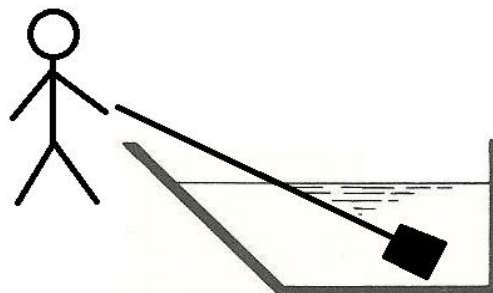


Figura 23 – Características geométricas da nova secção

Através da figura, de uma forma geral, há a possibilidade de retirar o lado da secção retangular morta, ou seja, não utilizada, e diminuir o caudal de água pois a secção é menor sem que a parede interfira no movimento do remo. Esta secção será apelidada de secção Trapézio-Retangular.

Considerando os mesmos intervalos de valores anteriormente utilizados nas secções mais comuns, realizou-se uma tabela de resultados (ver Anexo 5) onde são apresentadas os cálculos característicos desta nova secção. Nestes cálculos foram tidas em conta as duas secções, ou seja, metade da secção trapezoidal e metade da secção retangular.

Após a observação dos resultados obtidos, pensa-se que poderá ser mais uma secção de escolha, pois os seus valores são da mesma ordem do anterior e o problema do movimento do remo dentro de água apresentado nas secções triangular e trapezoidal foi ultrapassado.

Através da observação das tabelas de resultados das várias secções (ver Anexo 2 e 3), pode-se concluir, para este caso, que quanto maior é a secção do escoamento menor é o valor das perdas de carga. Já em relação à velocidade do escoamento o comportamento é contrário, pois quanto maior é a velocidade, maior é o valor das perdas de carga.

Em suma, até ao momento, este tanque tem duas secções que poderão ser utilizadas, a secção retangular e a secção trapézio-retangular, pois com os valores encontrados ainda não é permitido ter a certeza de qual das duas secções melhor se adequa.

### 6.3. – Sistema de recuperação de água

Após realizar um estudo acerca da secção de escoamento a utilizar, passou-se ao estudo do sistema que fará o bombeamento da água do fim do tanque para o início. Este sistema será realizado por baixo do chão, entre os dois tanques e dentro de uma conduta (escoamento em condutas). (ver Anexo 6) Daí a distância entre as duas filas de atletas ser igual à largura da conduta.

Com este esquisso surgiram variadas dúvidas, como, por exemplo, se o sistema de recuperação deve ser comum aos dois tanques ou se, por outro lado, deve ser individual a cada um. Para começar tentou-se saber qual seria a velocidade média dentro da conduta. Para isso, utilizou-se a equação da continuidade já que o caudal é o mesmo tanto no reservatório como na conduta.

Utilizando a mesma técnica já utilizada no estudo da secção do escoamento, definiram-se intervalos para variar e encontrar as dimensões da conduta que melhor se adaptam a este sistema. Em relação à largura da conduta, considerou-se que o intervalo variaria entre os 50 cm e os 175 cm, estando dividido em sub-intervalos de 25 cm. Já a altura da conduta, varia desde dos 10 cm até aos 35 cm, estando dividido em sub-intervalos de 5 cm. Ao saber a secção do tanque, a velocidade do fluido dentro deste e a secção da conduta pode-se saber qual é a velocidade dentro da conduta. Para saber a secção final do tanque utilizou-se a altura final no tanque multiplicada pela largura do tanque.

Após se saber a velocidade dentro da conduta, passou-se detalhar a conduta de maneira a poder calcular todas as perdas de carga que surgem durante o escoamento da água. Nesta primeira tentativa realizou-se o estudo considerando que as condutas de ambas as piscinas poderiam ser comum. Logo a conduta seria realizada no meio das duas piscinas. Este estudo será sempre realizado tendo em conta a mínima largura possível.

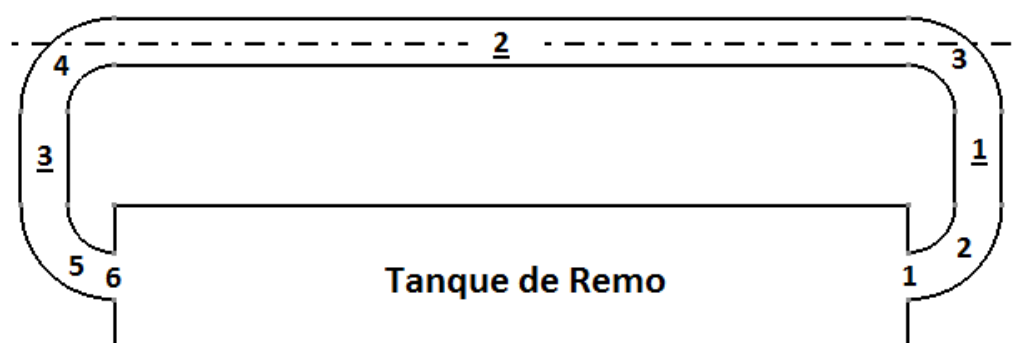


Figura 24 – Esquema da conduta de recuperação de água

Em suma, esta conduta é composta por 4 curvas de 90 graus, números 2,3,4 e 5; três troços retos, 1,2 e 3; uma passagem de uma conduta para um reservatório, 6; e por fim uma passagem de um reservatório para uma conduta, 1. A conduta será rectangular e a sua entrada estará colocada no meio da secção do tanque.

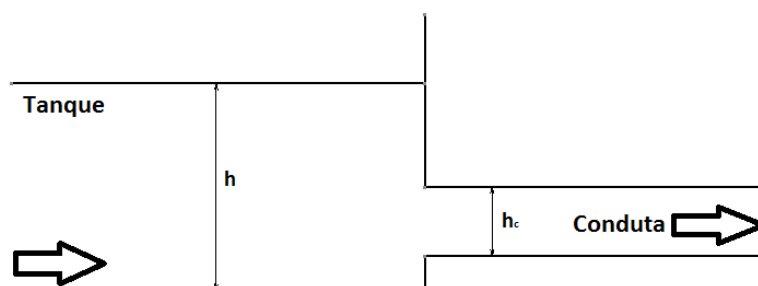


Figura 25 – Entrada da Conduta

Mais uma vez, para melhorar este anteprojeto e procurar a secção da conduta que melhor se adapta a este sistema, foram definidos intervalos onde é possível variar todas incógnitas que influenciam o valor das perdas de carga. Tendo em conta a equação geral das perdas de carga localizadas para escoamentos em condutas, apresentada no Capítulo 4, variou-se o raio de curvatura relativo e o tamanho do percurso total dos troços retos. Em relação ao raio de curvatura considerou-se que o intervalo seria desde os 10 cm até aos 70 cm, estando dividido em sub-intervalo de 10 cm. Já o tamanho total dos percursos retos foi variado considerando que o menor tamanho possível seria 19 m. Logo considerou-se que este poderia variar entre os 19 m e os 21,5 m, estando, mais uma vez sub-dividido em intervalos de 0,5 m.

Após observar as tabelas de resultados (ver Anexo 7 e Anexo 8) da secção retangular e da secção trapézio retangular, pode-se concluir que a velocidade dentro da conduta é elevada fazendo com que o valor das perdas de carga também o seja. Logo este tanque torna-se impossível de realizar. Para ultrapassar este problema só existe uma solução: aumentar as dimensões da conduta, pois a velocidade da água dentro do tanque não é alterável já que se sabe o seu valor ideal. Para além disso, neste estudo, as perdas de carga na conduta são menores para as secções com maiores dimensões. Este resultado torna-se um entrave visto que a conduta passa no meio das duas filas de atletas fazendo com que a largura total do anteprojeto aumente consideravelmente. Isto não é desejável pois existem limites em relação à largura total.

Por outro lado, pode-se concluir que quanto maior é o raio de curvatura menor é o valor das perdas de carga e que quanto menor é o comprimento da conduta melhores são os resultados. Em relação a secção da conduta quanto maior esta é, menor são as perdas de carga. Para além disso, foi também possível constatar que, embora a velocidade ideal fosse igual a 5 m/s, quanto menor fosse a velocidade, melhores eram os resultados (já que menores velocidades estão associadas a menores valores da perda de carga).

Uma das dúvidas existentes quando se iniciou o dimensionamento da conduta era se esta deveria ser comum a ambos tanques. Após os resultados encontrados considerou-se que não era a solução mais viável pois as perdas de carga seriam ainda maiores para além de aumentar consideravelmente a largura total do anteprojeto.

Tendo tudo isto em conta, foi realizado um estudo para uma conduta em que o sistema seria mais compacto. Para começar, a conduta passará por baixo da fila de atletas de cada um dos

tanques sem interferir com o treino destes. Como estes ocupam aproximadamente um 1,14 metro de largura, a conduta não poderá ser muito maior para que não interferira com a conduta do outro tanque. Por outro lado os troços retos 1 e 2 foram retirados, passando as curvas 2,3,4 e 5 a apenas duas curvas permitindo assim utilizar raios de curvaturas maiores. A altura da conduta foi também aumentada.

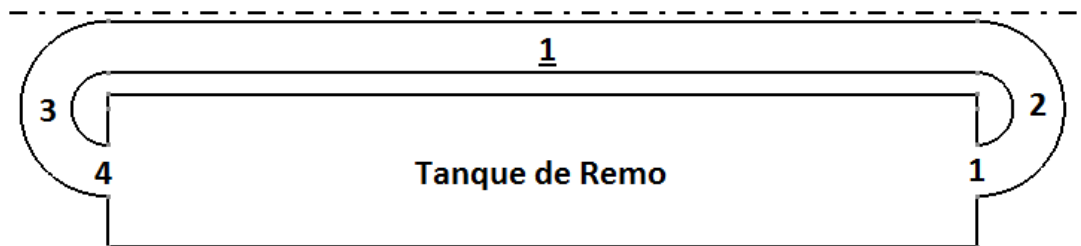


Figura 26 – Esquema da conduta mais compacta de recuperação de água

Duma forma resumida, esta nova conduta é composta por 2 curvas de 180 graus, números 2 e 3; um troço reto do tamanho do comprimento do tanque, 1; uma passagem de uma conduta para um reservatório, 4; e por fim uma passagem de um reservatório para uma conduta, 1. Daí termos realizado novas tabelas de resultados para esta nova conduta. Neste estudo, vai-se considerar uma conduta fixa para que se possa ter uma ideia mais real do que se sucede. Por outro lado, a largura da conduta nunca poderá ser muito maior que 1 metro pois é aproximadamente o espaço que o remador ocupa ao lado da piscina.

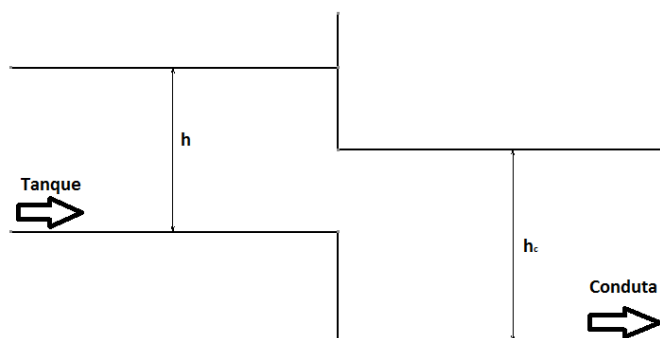


Figura 27 – Nova Entrada da Conduta

Tendo em conta a Figura 27 e a tabela das perdas de carga localizadas, presente no Anexo 2, é possível melhorar a passagem anterior arredondando as arestas vivas existentes nesta

passagem. Com isto há a possibilidade de diminuir o valor do coeficiente das perdas de carga e, localmente, aumentar a área disponível para a passagem da água.

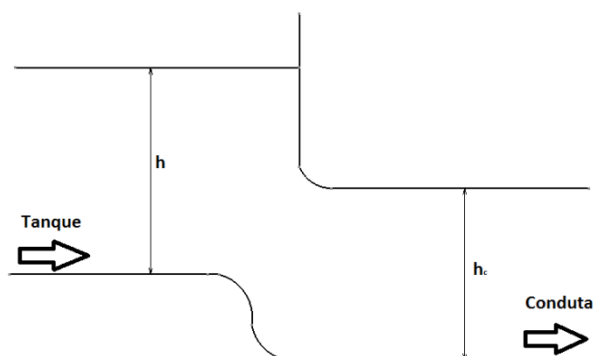


Figura 28 – Entrada suavizada da conduta

Através das tabelas de resultados (Anexos 9 e 10) onde são apresentados os resultados do estudo da conduta mais compacta, pode-se concluir que os valores encontrados são bastantes satisfatórios. Todas as reformas feitas no nosso sistema de bombeamento, tendo em conta o primeiro caso, vieram tornar o tanque mais eficaz, provocando uma descida das perdas de cargas e uma diminuição da velocidade do escoamento para valores bastante aceitáveis. Para além disso, com o valor das perdas de cargas a diminuir drasticamente o valor da diferença de pressão será menor, o que fará com que a potência necessária fornecer à bomba também seja menor. Para concluir, pode-se dizer, tendo em conta este estudo, que as secções de menor dimensões apresentam os melhores resultados no estudo da respetiva conduta.

Sabendo o valor total das perdas de carga no sistema, como anteriormente já foi referido, é possível saber qual a potência necessária fornecer, através de uma bomba, ao sistema para que este tenha a eficácia necessária. Daí, e transformando as perdas de carga na diferença de pressão entre o início e o fim da conduta, como é possível ver tanto no Anexo 9 como no Anexo 10, pode saber-se qual a potência necessária para acionamento da bomba.

Com este valor, é possível saber qual será o preço de funcionamento deste anteprojecto, permitindo escolher qual das dimensões utilizadas neste estudo melhor se enquadra com as pretensões da secção de remo. Como é possível ver, temos tanques para todo o tipo de custo de funcionamento.

Após as escolhas mais apropriadas e vantajosas, terá que ser encontrada a bomba que melhor se adequa. Para tal, terá que recorrer a catálogos de bombas onde se possam encontrar as características destas. Logo, e depois de uma pequena pesquisa na *internet*, encontrou-se vários catálogos capazes de satisfazer as necessidades deste sistema. Dois desses catálogos foram o da empresa *Weir Minerals* (<http://pdf.directindustry.com/pdf/weir-minerals-23306.html>) e da empresa *Allweiler* (<http://www.allweiler.de>).

Neste caso as bombas que melhor se adaptam a este sistema são as axiais já que permitem o bombeamento de grandes caudais, com perdas insignificantes.

Logo e como é possível ver na Gráfico 2, é através de um gráfico deste tipo que é possível encontrar a bomba que melhor se adapta ao nosso sistema. Tendo uma curva com as perdas de carga total do sistema e uma outra com o comportamento da bomba é possível saber qual os valores de pressão e vazão para qual a bomba funciona. Esse ponto não é mais do que a interceção das duas curva anteriormente apresentadas. Quando for escolhida a secção e a bomba que melhor se adequa a este sistema, será possível realizar um gráfico deste tipo e assim encontrar o “Ponto do projeto”.

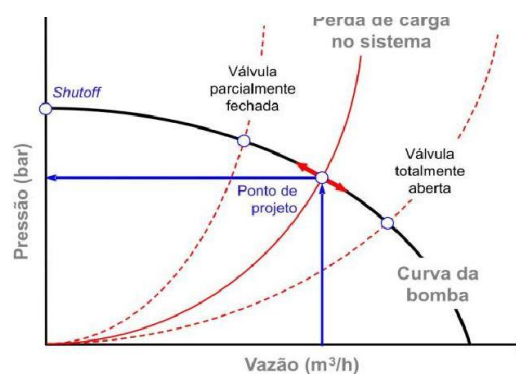


Gráfico 2 – Curvas características da bomba e do sistema [21]

Considerando os resultados obtidos pensa-se que a bomba que melhor se enquadra com o sistema escolhido é a Bomba *Begemann Q pump*, Figura 29, da empresa *Weir Minerals*. Devido ao seu formato, esta bomba poderá ser instalada numa das curvas da conduta para que assim possa transmitir ao sistema a energia necessária para o movimento da água. (Anexo 11)



Figura 29 – Bomba Axial [22]

Neste caso, será necessário uma bomba para cada um dos tanques, pois só assim será possível ao fluido receber a energia que lhe permita escoar com as características desejadas, e só assim é permitido operar com um dos tanques estando o outro sem utilização.

Para além disso, também é necessário não esquecer o motor elétrico que será forçosamente acoplado a esta bomba. Daí ser fundamental ter em consideração as suas dimensões. Como será utilizada uma bomba para cada um dos tanques, serão necessários dois conjuntos motor-bomba.

Como anteriormente é referido, para que se possa saber qual a bomba que melhor se adequa a este sistema temos que recorrer as curvas características da bomba em questão. Daí na Figura 30 serem apresentadas as curvas características para que se possa escolher o modelo que melhor se enquadra com o nosso sistema.

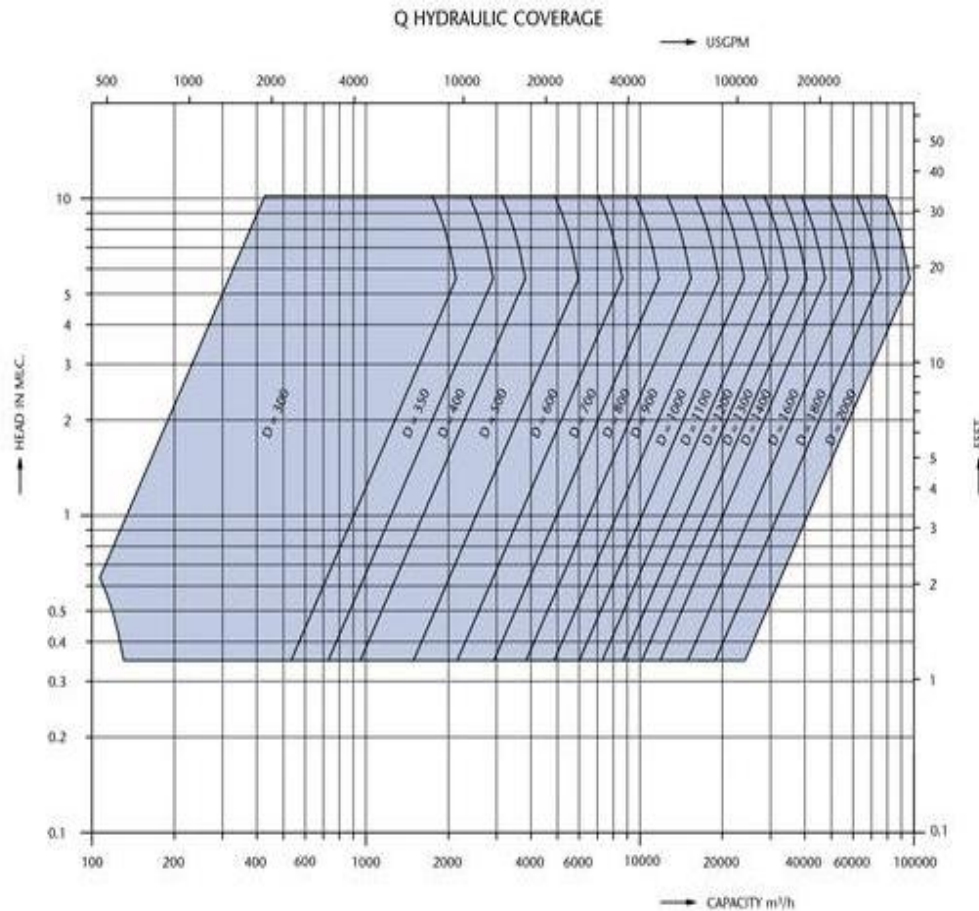


Figura 30 – Curvas Características - *Begemann Q pump* [23]

Para se saber qual das bombas melhor se adapta a este sistema, após escolher qual as características da secção e da conduta, é necessário recorrer aos Anexos das várias secções e retirar o valor das perdas de carga e o caudal. De seguida e socorrendo-se da figura anterior, é possível encontrar qual a bomba desejada. Exemplificando o que anteriormente foi dito, ao escolher a secção com menor custo de funcionamento do Anexo 10 fica-se a saber que:

$$\Delta H = 1,04$$

$$Q = 5 \text{ m}^3/\text{s} = 18000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Logo a bomba necessária, para este exemplo, seria a bomba *Begemann Q pump* com um diâmetro igual a 1300.

Para finalizar e obter uma ideia mais pormenorizada do que se passa dentro do tanque e da conduta, realizaram-se várias simulações para melhor perceber o escoamento da água. Para isso foi necessário recorrer ao CFX, um dos pacotes de *software* de CFD (*Computational Fluid Dynamics*). O Ansys CFX é um produto que permite testar sistemas hidráulicos em ambientes virtuais. Este programa é muito versátil pois permite simular todo o tipo de escoamentos em todo

o tipo de condições. Daí terem sido realizadas várias simulações aos pontos mais críticos deste projeto, para perceber se o seu comportamento era o desejado.

Após a realização de alguns testes, tendo como secção ideal a secção retangular que apresentava o menor custo de funcionamento e ao mesmo tempo permitia a imersão total da pá do remo desde do início do tanque até ao fim, chegou-se ao perfil de velocidades do fluido dentro do tanque.

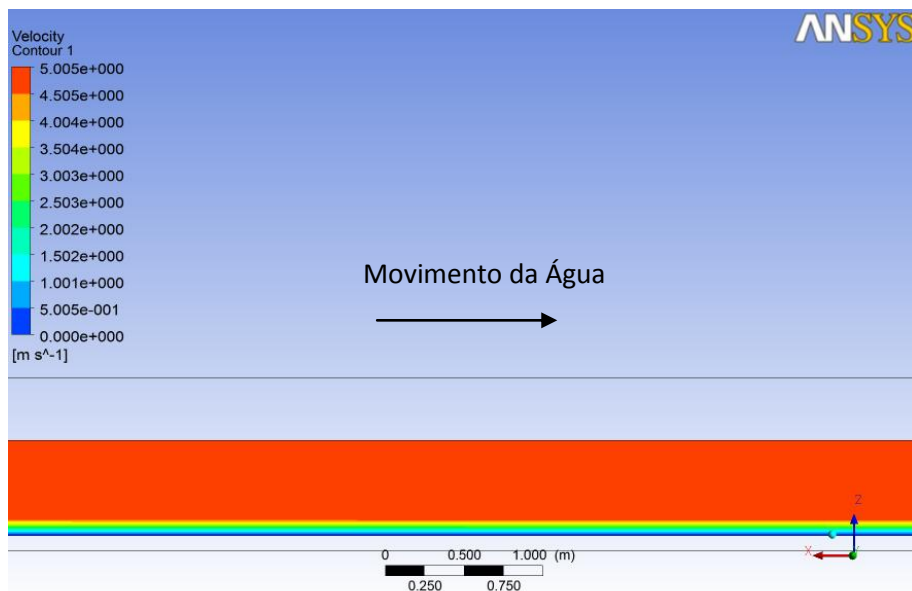


Figura 31 – Comportamento do fluido ao longo do seu deslocamento dentro do tanque

Na Figura 31, é possível ver o comportamento do fluido simetricamente ao seu deslocamento, tendo um comportamento igual em todo o seu comprimento. Já na Figura 32, pode-se ver o comportamento do mesmo fluido na mesma secção mas desta vez de uma vista superior. Nesta imagem apenas é representada metade do tanque.



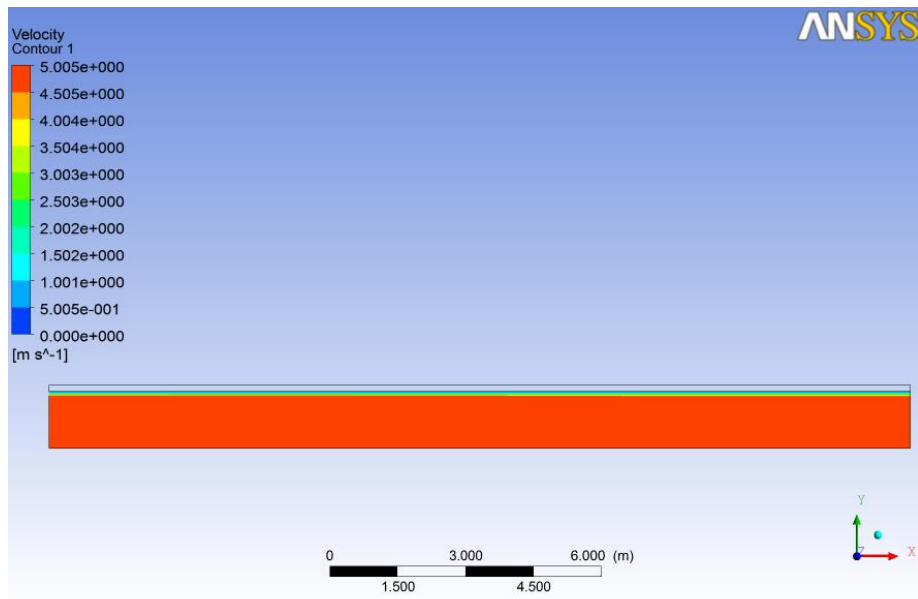


Figura 32 – Vista superior do comportamento do fluido ao longo do seu deslocamento dentro do tanque

Como este projeto foi realizado para duas secções diferentes, também foi efetuado o mesmo estudo para a secção trapézio-retangular. Como é possível ver na Figura 33, no perfil de velocidades da secção, existem bastantes pontos onde a água simplesmente está parada.

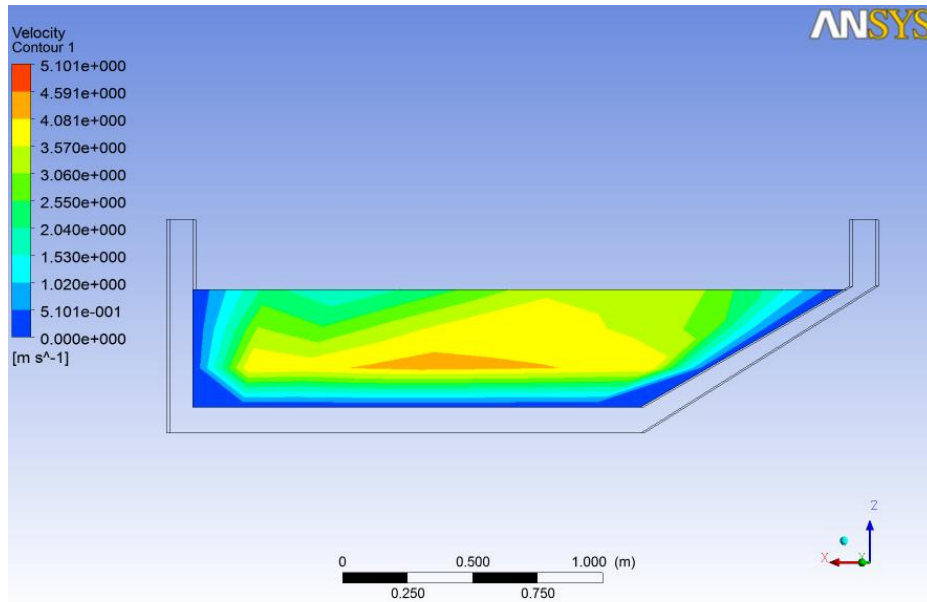


Figura 33 – Perfil de velocidades secção trapézio-retangular

Logo, devem arredondar-se os vértices da secção para que assim se possam ultrapassar essas desvantagens. Para comprovar realizou-se um novo estudo mas desta vez para uma secção trapézio-retangular com as arestas vivas arredondadas. Como é possível ver na Figura 34, há um melhoramento do escoamento do fluido na secção.

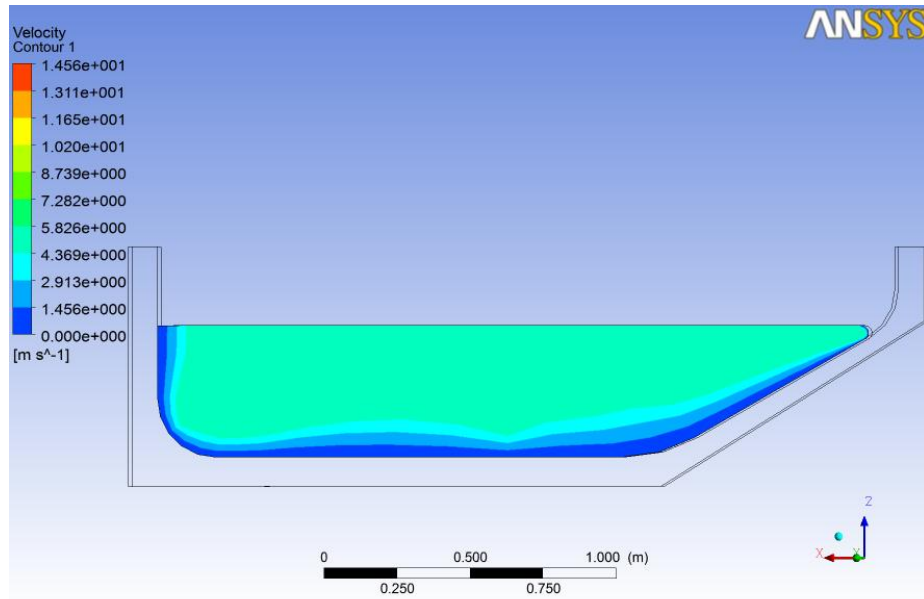


Figura 34 – Perfil de velocidades secção trapézio-retangular – secção suavizada

Após um estudo sobre qual o comportamento do fluido na secção passou-se ao estudo da circulação de água dentro do tanque e da conduta. Para isso realizou-se um estudo onde se considerou que a água entraria no meio do tanque e sairia após dar uma volta. Esta técnica permite entender melhor o efeito da entrada, da saída e das curvas da conduta no escoamento e assim melhorar algumas características geométricas que dificultarão o movimento do fluido.

Como é possível constatar na Figura 35, é necessário melhorar a entrada na conduta, já que a escolhida não facilita o escoamento na entrada na conduta.

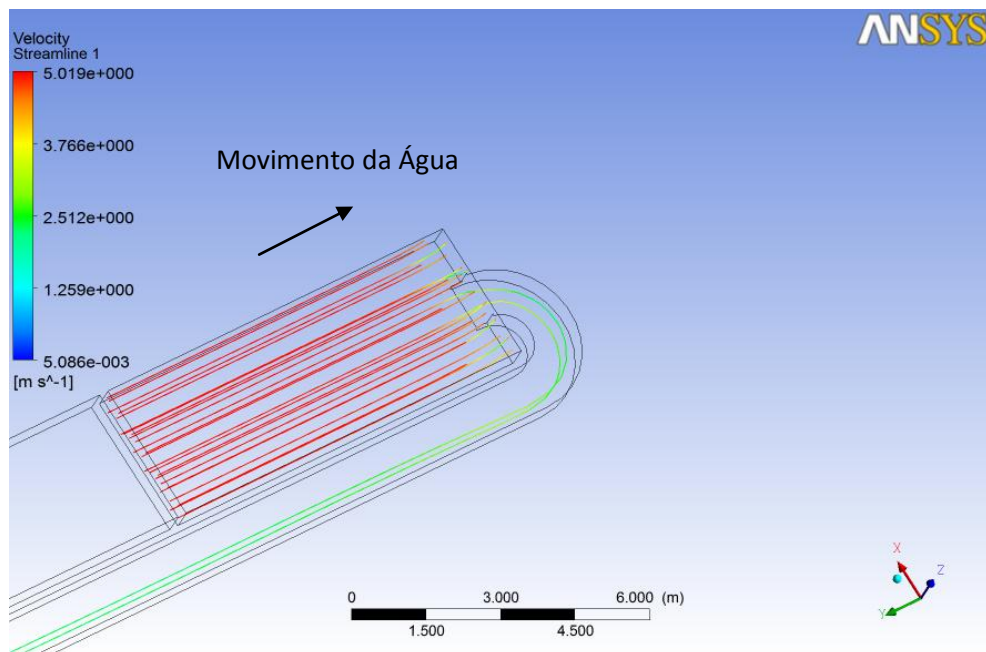


Figura 35 – Circulação do fluido – entrada na conduta

Então procurou-se encontrar uma forma de ultrapassar esse problema. Após algumas tentativas chegou-se à conclusão que a melhor solução seria uma entrada com a largura do tanque que mais tarde, já dentro da conduta, diminuirá para a largura desejada, ou seja 1 metro. Com esta solução a entrada na conduta é feita de uma forma mais gradual, e sem grandes perdas.

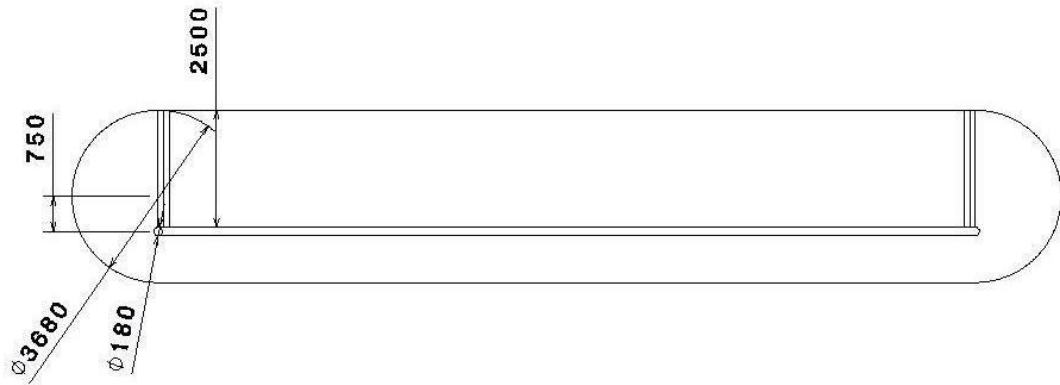


Figura 36 – Nova conduta

Com esta nova conduta, Figura 36, pensa-se que será ultrapassado o problema da entrada brusca na conduta. No Anexo 12 e 13 podem encontrar-se os cálculos efetuados para esta nova conduta. Contudo, aquando da simulação da desta nova geometria surgiram alguns problemas de recirculação do escoamento nas curvas da conduta, como representado na Figura 37.

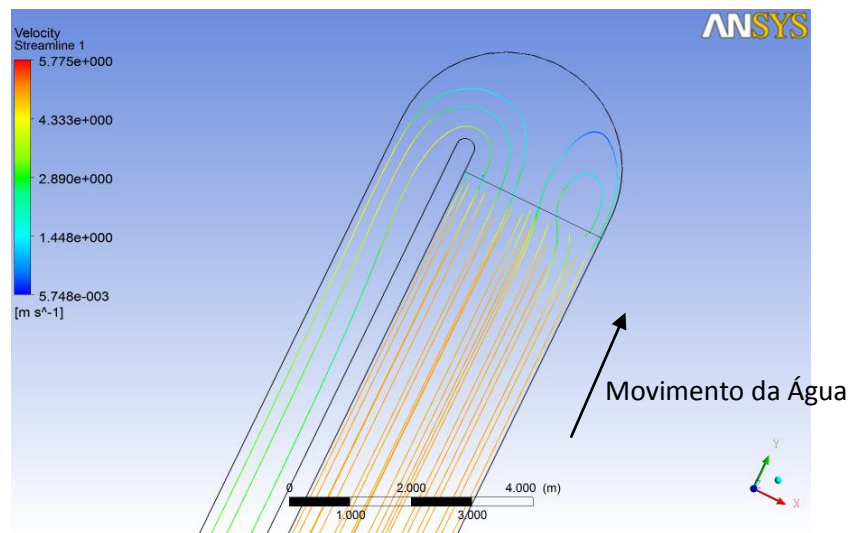


Figura 37 – Circulação do fluido – nova entrada na conduta

Para ultrapassar esta desvantagem será necessária a utilização de umas guias para direcionar e não permitir o retrocesso da circulação do escoamento aquando da curva da conduta, como representado na Figura 38.

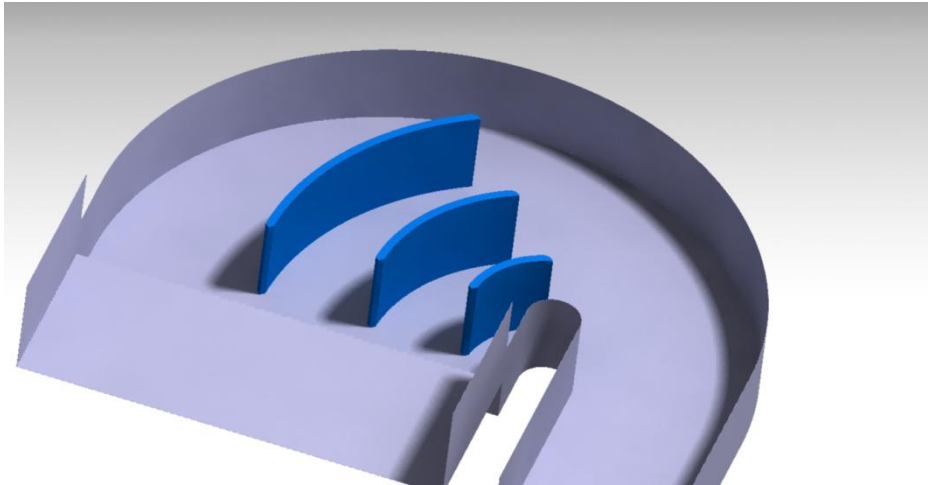


Figura 38 – Guias para facilitar a circulação do fluido dentro da conduta

Estas guias deverão existir em ambas as curvas da conduta, permitindo assim um escoamento “disperso” por toda a secção da conduta e do tanque.

Assim sendo o comportamento do fluido dentro da nova conduta será semelhante ao apresentado na figura seguinte.

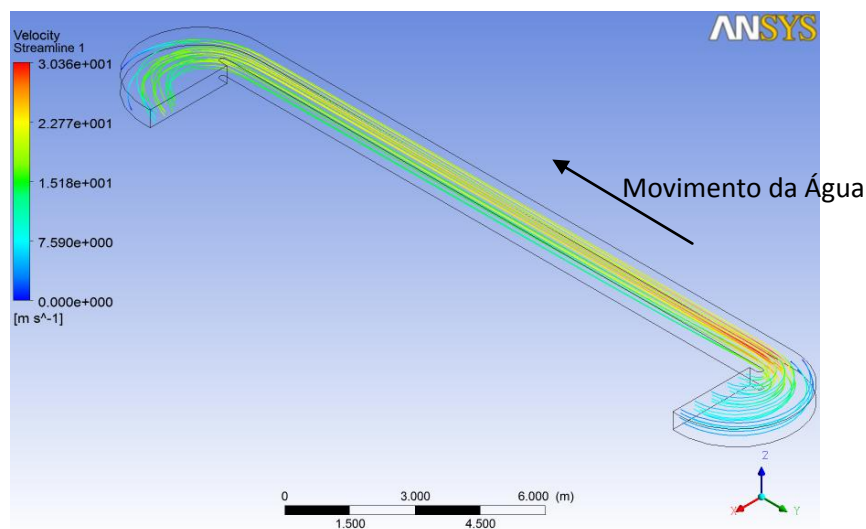


Figura 39 – Circulação do fluido dentro da nova conduta

Logo e após todo este estudo, pensa-se existirem condições para apresentar o anteprojecto final. Como a secção retangular é a secção que apresenta melhores resultados será a utilizada. A secção trapézio-retangular embora também apresente valores interessantes manifesta pequenas lacunas que poderão vir a impossibilitar a sua consideração.

Na Figura 40 é apresentada a planta final do projeto. Nesta figura estão representados sete pontos que serão estudados mais pormenorizadamente para aí conhecer melhor o comportamento do fluido.

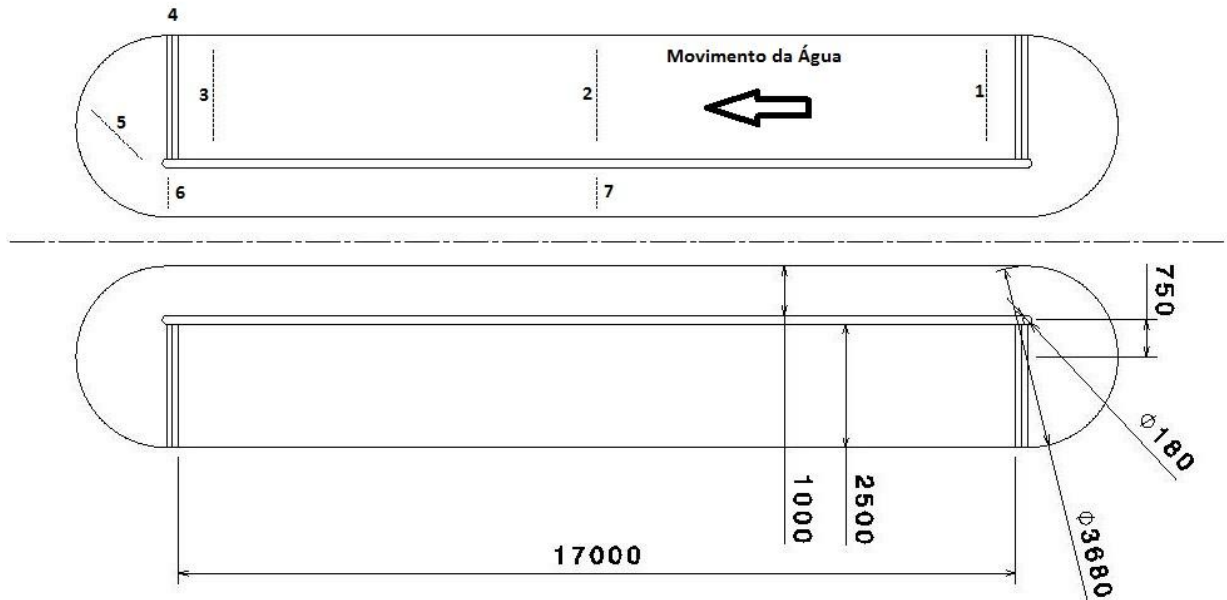


Figura 40 – Planta do Projeto Final

Para começar serão estudados os primeiros 3 pontos. Todos estes pontos se encontram dentro do tanque de remo. O primeiro ponto está colocado no início, o segundo no meio e o terceiro no fim do tanque.

Nestes três primeiros pontos, o fluido tem o comportamento esperado, como será possível ver nas figuras seguintes, estando apenas representado metade do tanque.

#### Ponto 1:

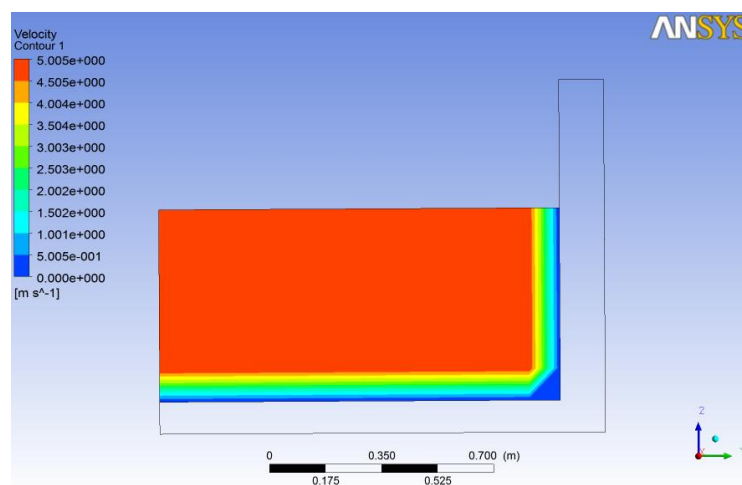


Figura 41 – Perfil de velocidades – Ponto 1

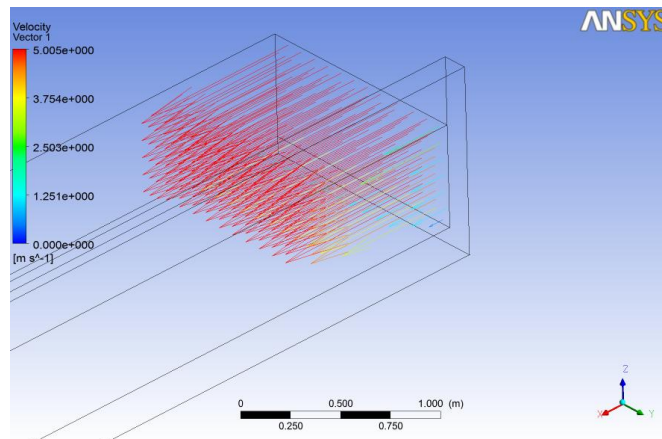


Figura 42 – Vetores velocidade – Ponto 1

Ponto 2:

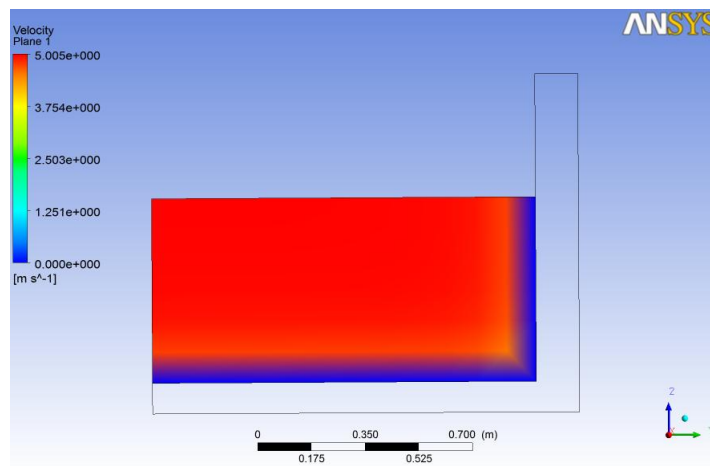


Figura 43 – Perfil de velocidades – Ponto 2

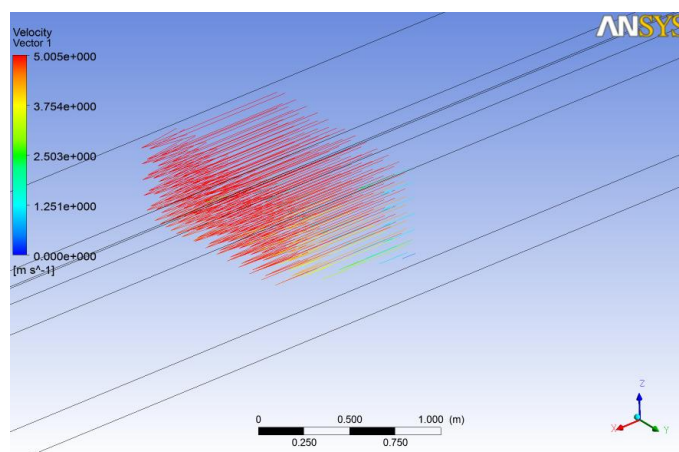


Figura 44 – Vetores velocidade – Ponto 2

**Ponto 3:**

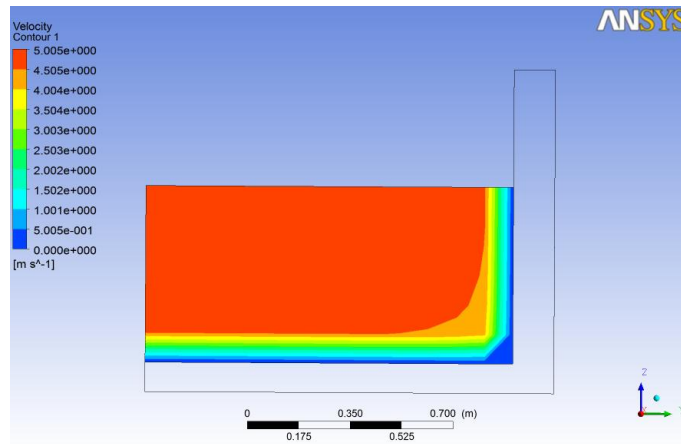


Figura 45 – Perfil de velocidades – Ponto 3

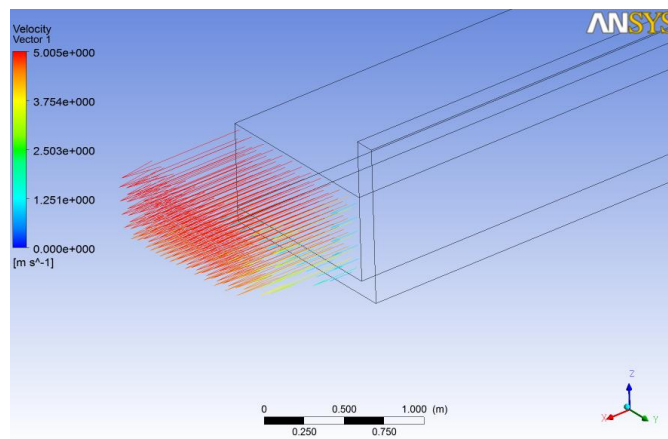


Figura 46 – Vetores velocidade – Ponto 3

Em conclusão, e através das figuras anteriores, pensa-se ser, mais uma vez, favorável o arredondamento das arestas vivas da secção.

Outro dos pontos críticos deste projeto é o comportamento do fluido na entrada da conduta. Daí ter-se realizado um estudo desse caso específico, **Ponto 4**, para perceber qual o seu comportamento. Como é possível constatar na Figura 47, há umas pequenas perturbações pela existência de arestas vivas na passagem que não favorecem o comportamento do escoamento.

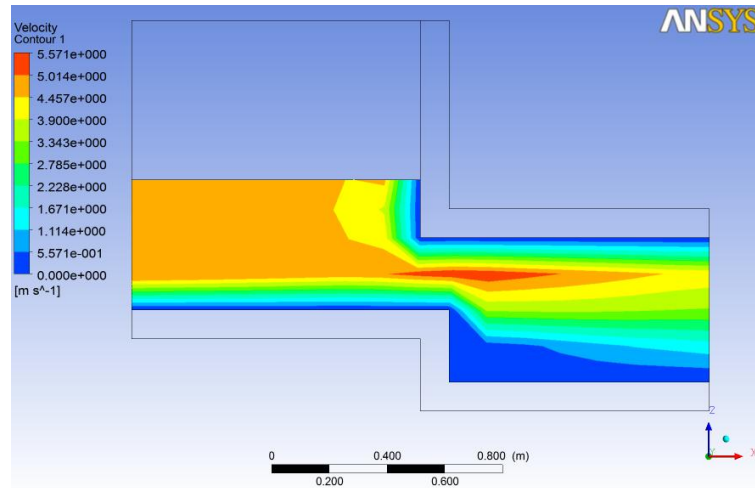


Figura 47 – Entrada do escoamento na conduta

Daí ter sido sugerido durante o desenvolvimento do trabalho o arredondamento das arestas vivas da entrada. Assim foi possível facilitar a entrada do fluido na conduta, como é possível constatar na Figura 48.

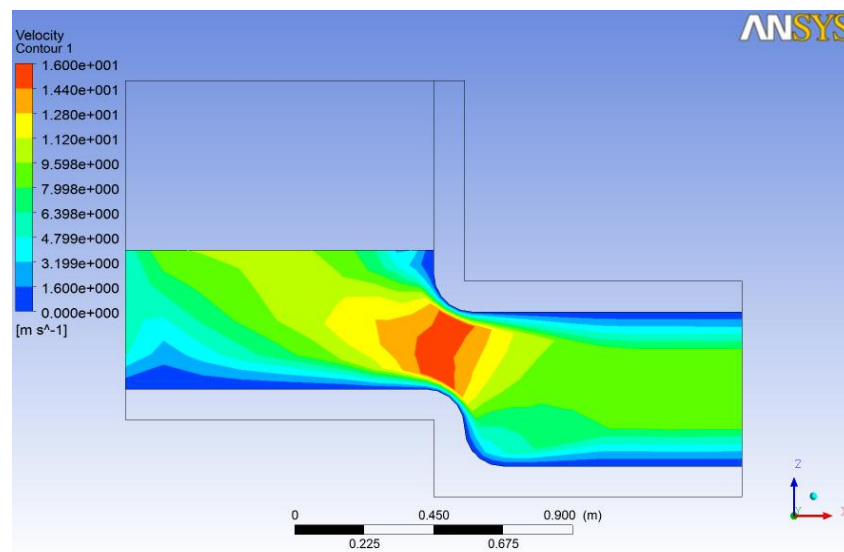


Figura 48 – Entrada suavizada do escoamento na conduta

Para finalizar serão estudados os últimos 3 pontos já dentro da conduta, sendo as guias do **Ponto 5** dimensionadas como é possível ver na Figura 49.



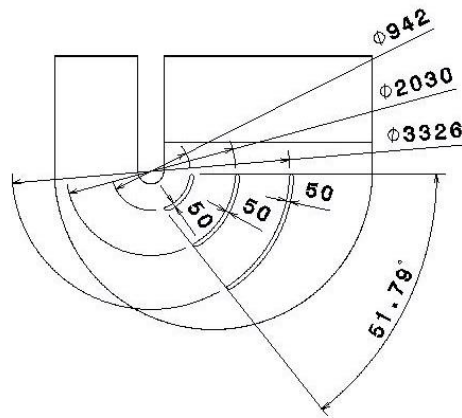


Figura 49 – Dimensões das guias

Ao ser dimensionadas desta forma permitirão ao fluido ter um comportamento semelhante ao apresentado na Figura 50.

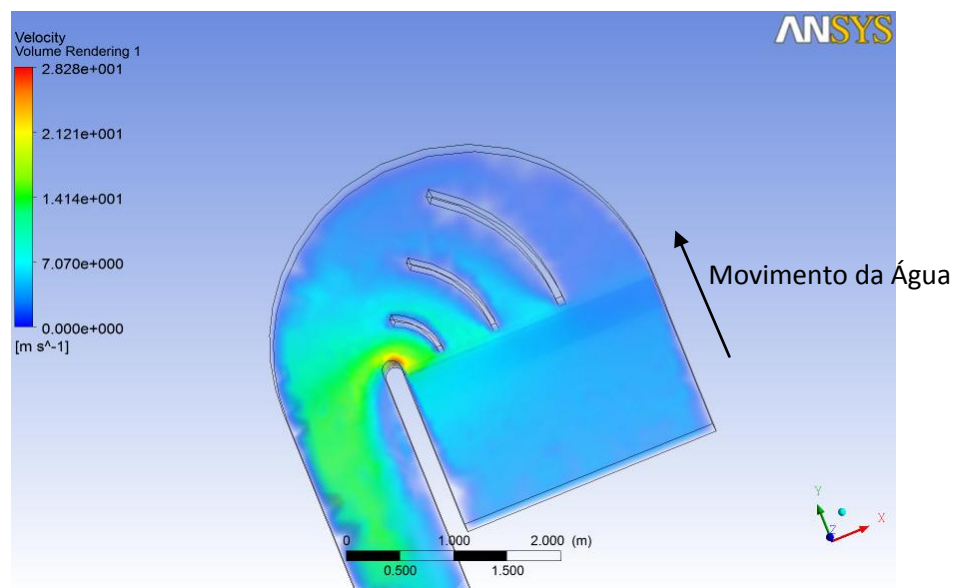


Figura 50 – Velocidade do fluido durante a curva da conduta

Após a curva, **Ponto 6**, o comportamento do fluido volta a estabilizar. Daí se comportar como é apresentado nas Figuras 51 e 52.

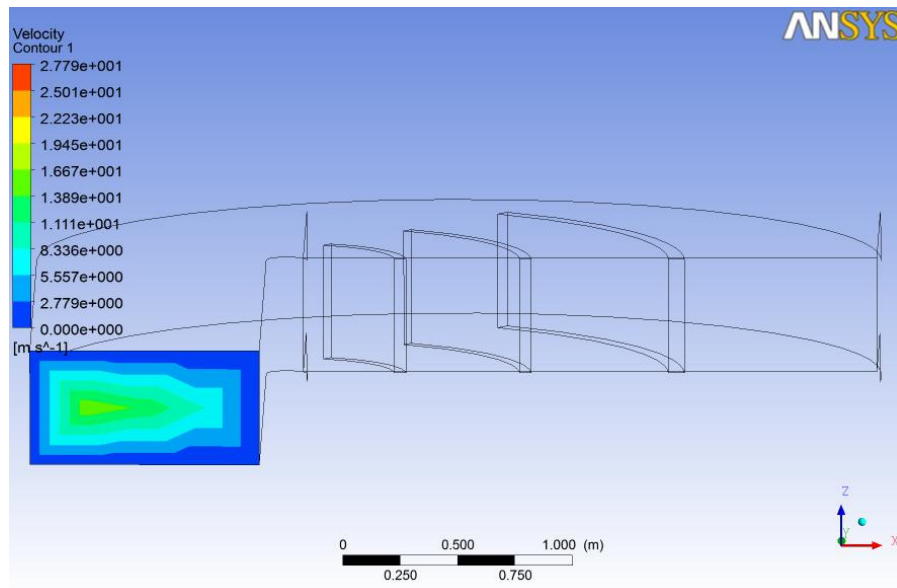


Figura 51 – Perfil de velocidades – Ponto 6

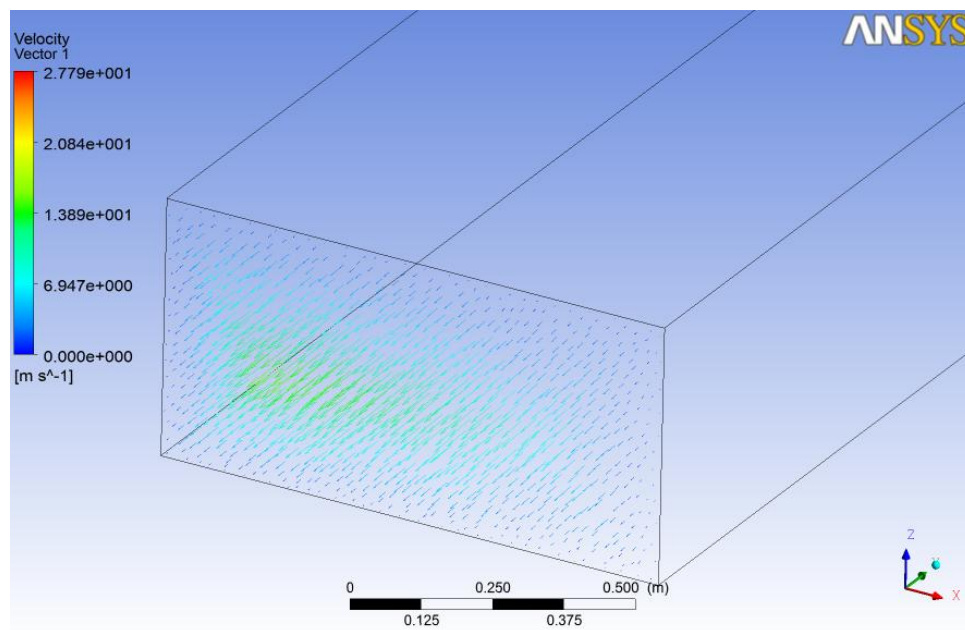


Figura 52 – Vetores velocidade – Ponto 6

Já no meio da conduta, **Ponto 7**, o comportamento do fluido volta a alterar passando a ter um comportamento igual ao das próximas duas figuras.

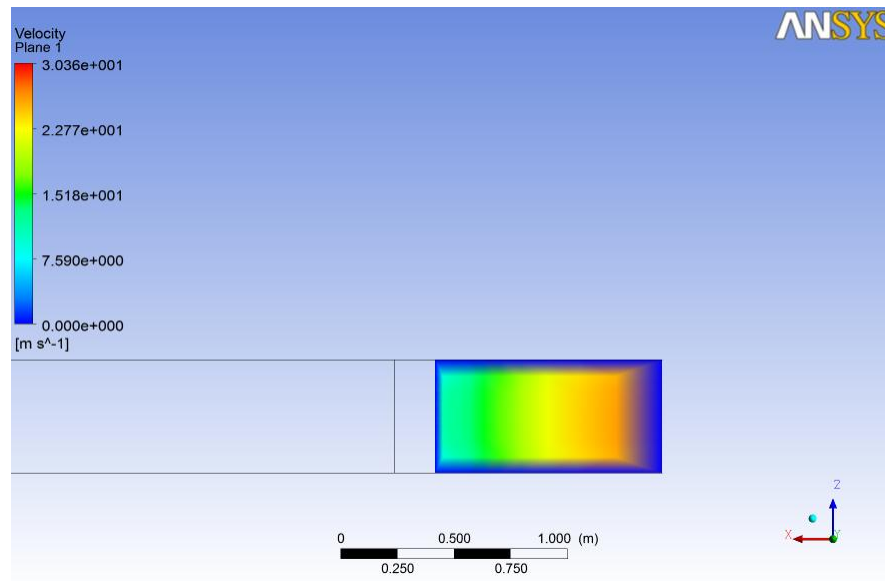


Figura 53 – Perfil de velocidades – Ponto 7

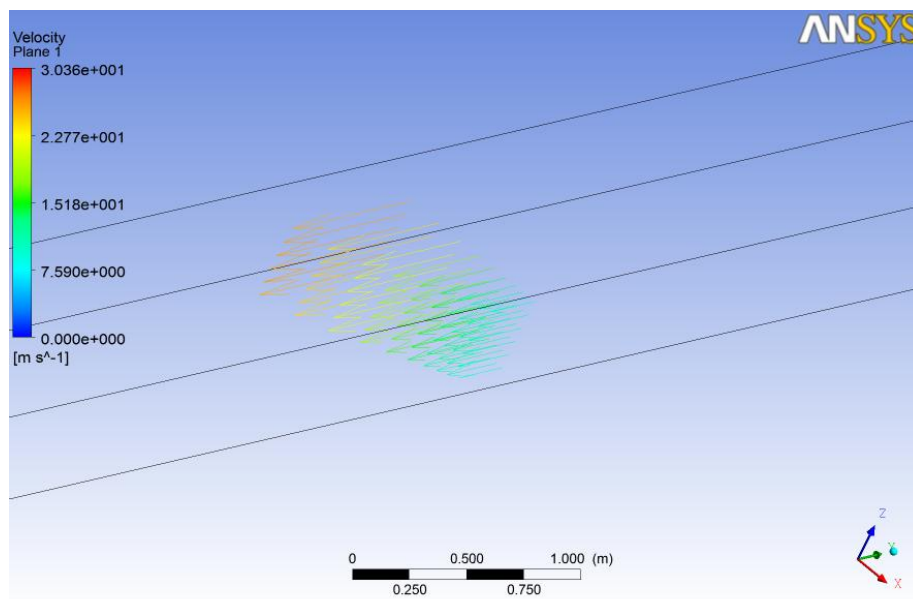


Figura 54 – Vetores velocidade – Ponto 7

Tendo em conta tudo isto, pensa-se ter encontrado uma solução que possa satisfazer todos os requisitos necessários para este tipo de projeto sem que seja posta em causa o funcionamento do mesmo.

## Cap.7 – Conclusões

Como conclusão pode-se dizer que este estudo foi ao encontro do esperado, já que foi possível chegar ao objetivo principal, apresentado no início do trabalho. O estudo revelou-se bastante inovador e diversificado já que, em Portugal, este tipo de equipamentos ainda se encontra pouco desenvolvido. Além disso, apresenta um vasto leque de opções que possibilita várias possibilidades de escolha.

Passando para o trabalho em si, pode-se concluir que das quatro secções em estudo apenas duas se perfilam como adequadas para esta situação: a secção retangular e a secção trapézio-retangular. A profundidade da água é o fator que mais influencia positivamente este anteprojecto, pois o seu aumento melhora todos os parâmetros obtidos em relação ao movimento do fluido. Embora também permita um melhoramento das condições do escoamento, o aumento da largura do tanque não tem a mesma influência que a profundidade da água. Isto torna-se importante, pois, apesar do anteprojecto estar limitado em termos de largura (aproximadamente 12 metros), é permitido escolher a largura de cada tanque, que melhor se adequa ao desejado, sem que haja grande alteração dos resultados finais.

Já em relação à velocidade do escoamento, os resultados obtidos são bastante favoráveis, já que ao se utilizar 5 m/s como o valor mais indicado neste tipo de sistema não existem complicações tanto ao nível da velocidade dentro da conduta como ao nível das perdas de carga, embora se tenha verificado que a velocidade na primeira conduta atingia valores que não seriam possíveis de utilizar. Para ultrapassar este problema foi realizada uma nova conduta onde se aumentou a secção da conduta e naturalmente os resultados melhoraram significativamente sendo ultrapassadas as complicações iniciais.

Outro dos detalhes a ter em conta é, aquando do dimensionamento da conduta, utilizar um raio de curvatura o maior possível, pois fará com que as perdas de carga sejam menores. Neste caso este estudo vai de encontro com isso, pois devido a utilização de uma curva de 180 graus no início da conduta, esta necessita ter um raio de curvatura grande para que não impeça o seu dimensionamento.

Em termos do custo de funcionamento do tanque, um fator importantíssimo na escolha, pode-se dizer que vai ao encontro dos melhores parâmetros de dimensionamento, já que este está diretamente ligado às perdas de carga. Isto porque quanto menor é o valor da perda de carga, menor é o custo de funcionamento, pois assim a potência necessária para compensar estas perdas será menor. Embora isto aconteça, este valor em termos gerais é um pouco elevado, já que está diretamente dependente do caudal da água. Como é necessário um caudal elevado, o custo de funcionamento aumenta obrigatoriamente sendo uma desvantagem deste anteprojecto.

Contudo, não é óbvio que a menor secção seja a característica ideal para este anteprojecto, pois poderá não possibilitar aos atletas um treino realista. Sendo assim, a secção do Galitos terá que ter isso em conta e tentar não fugir muito às características apresentadas como sendo ideais neste tipo de desporto.

Já em relação as simulações que foram realizadas, pode-se dizer que vieram confirmar as ideias pré-definidas mostrando a validade deste trabalho. Para além disso mostrou algumas das lacunas que ainda existiam no trabalho proporcionado um melhoramento das mesmas. Com isto pode-se dizer que foi uma etapa importante no trabalho pois só o veio enriquecer e melhorar.

Tendo em conta o que foi anteriormente escrito, pensa-se que este estudo apresenta toda a informação necessária para que se possa encontrar a melhor solução para o espaço que tem disponível, com um preço de funcionamento muito razoável e sem descurar qualquer pormenor importante na prática do remo.

## Bibliografia

- [1] FEIO, Noronha (1986). Educação Física e Desporto (2ªed.).Edição ASA.Lisboa.
- [2] SECHER, Niels H. & VOLIANITIS, Stefanos (2007). ROWING - Handbook of Sports Medicine and Science. Blackwell Publishing. Oxford.
- [3] HENRIQUES, Carlos Manuel Gomes. A Génese do Remo Desportivo em Portugal.  
<http://www.remoportugal.pt/LinkClick.aspx?fileticket=obglPybJZGg%3D&tabid=62> – retirado em 29/09/10
- [4] CLUBE DO GALITOS – 100 Anos.  
<http://www.galitos.pt/historial.aspx?seccao=7&menu=411> – retirado a 15/07/11
- [5] REGULAMENTO NACIONAL DE REGATAS (RNR) DA FEDERAÇÃO PORTUGUESA DE REMO.  
<http://www.remoportugal.pt/Federação/EstatutoseRegulamentos/tabid/59/Default.aspx> - retirado a 09/02/11
- [6] VISUAL MERRIAM-WEBSTER  
<http://visual.merriam-webster.com/sports-games/aquatic-nautical-sports/rowing-sculling/types-oars.php> - retirado a 09/02/11
- [7] DUARTE, John. Introduction To Rowing. Monongahela Rowing Association.  
[http://monrowing.org/PDF\\_Docs/Rowing%20Introduction%20-%20Duarte.pdf](http://monrowing.org/PDF_Docs/Rowing%20Introduction%20-%20Duarte.pdf) – retirado em 09/02/11
- [8] GIFFORD, Clive (2004). Jogos Olímpicos – O Maior Acontecimento Desportivo do Mundo. Sistema J. Queluz.
- [9] CONCEPT2 - OARS  
[http://www.concept2.com/us/oars/related\\_products/oarlocks.asp](http://www.concept2.com/us/oars/related_products/oarlocks.asp) - retirado a 09/02/11
- [10] DURHAM BOAT COMPANY  
<http://www.durhamboat.com/seats.php> - retirado 09/02/11
- [11] DURHAM BOAT COMPANY  
<http://www.durhamboat.com/foot.php> - retirado 09/02/11
- [12] CAROE, Rebecca (2010). Rowing Tanks by Durham Boat. Middlesex.  
<http://www.rowperfect.co.uk/rowing-tanks-by-durham-boat/> - retirado em 14/10/10

[13] PETERSON- ARCHITECTS

<http://www.peterson-architects.com> – retirado 09/02/11

[14] NOVAIS-BARBOSA, J. (1985). Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral. Porto Editora. Porto.

[15] LENCASTRE, A. (1991). Hidráulica Geral (2ªed.). G.C. – Gráfica de Coimbra, Lda. Coimbra.

[16] WHITE, Frank M. (1994). Fluid Mechanics (3ªed.). McGraw-Hill, Inc. Internacional Edition. Estados Unidos da América

[17] FIALHO, Arivelto Bustamante (2010). Automação Hidráulica – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos (5ª ed.). Editora Érica Ltda. São Paulo.

[18] EDP - PORTUGAL

<http://www.edp.pt/pt/particulares/edp5d/edpcasa/Pages/Tarifario.aspx> - retirado 12/09/11

[19] GRAY, Amanda & LINDERMAN, Corinne & PAVIS, Sarah (2006). Design of a Poolside Rowing Mechanism for WPI'S Crew Team. Worcester Polytechnic Institute. Worcester

[20] NAUTIQUEATRO

<http://www.nautiqueatro.pt/DESPORTOSN%C3%81UTICOS/Remo/RemosConcept2/RemosdePontas/Op%C3%A7%C3%B5esdeP%C3%A1ginas/tabid/216/language/pt-PT/Default.aspx> - retirado 25/04/11

[21] MECATOR NEWS. Numero 25. Setembro 2007

<http://www.mecalor.com.br/noticias/noticia.php?edicao=25&materia=127> – retirado a 30/10/11

[22] Weir Minerals

<http://www.directindustry.com/prod/weir-minerals/propeller-pumps-23306-376724.html> - retirado a 09/11/11

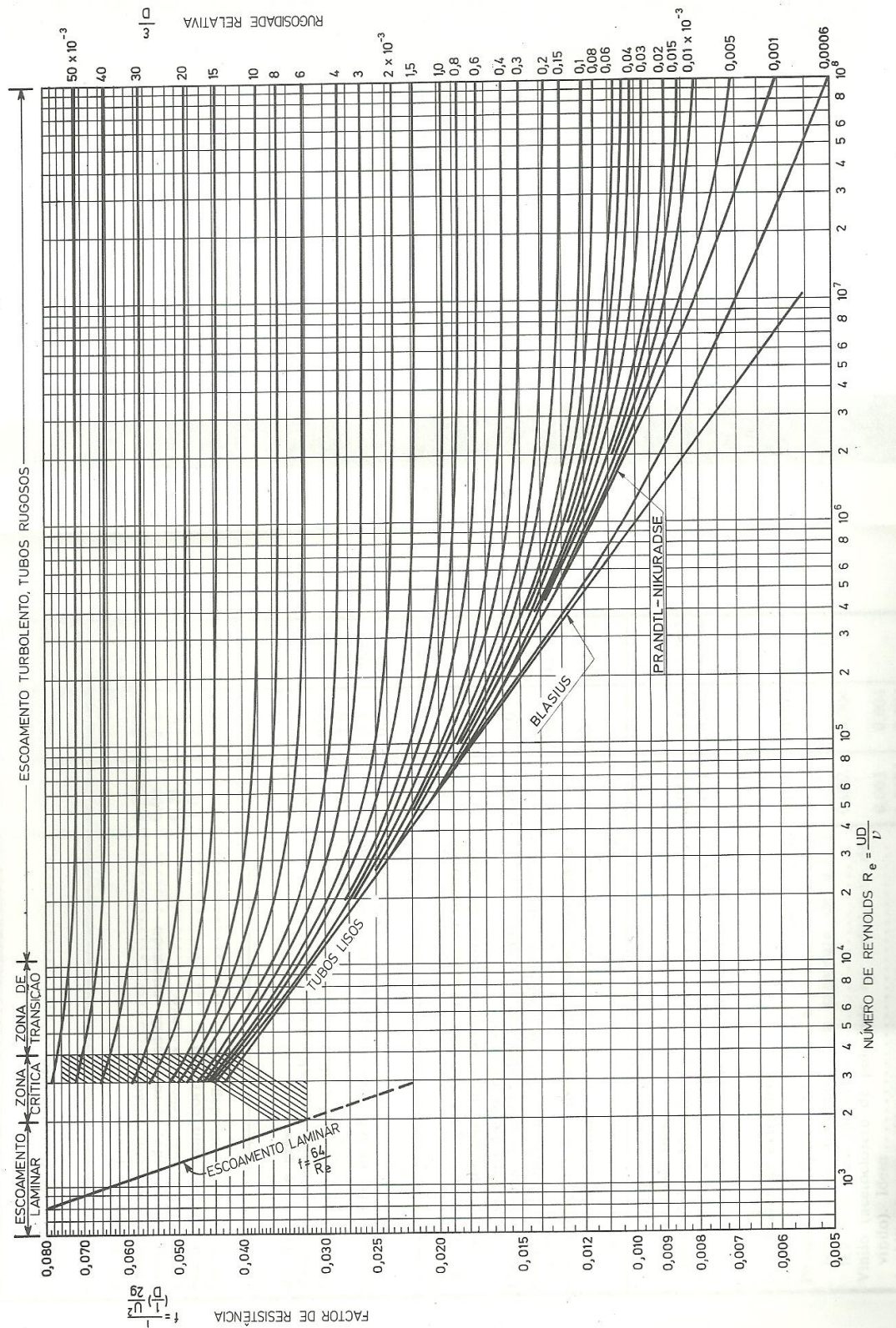
[23] Weir Minerals

<http://pdf.directindustry.com/pdf/weir-minerals/heavy-duty-axial-flow-pumps/23306-96025.html> - retirado a 09/11/11

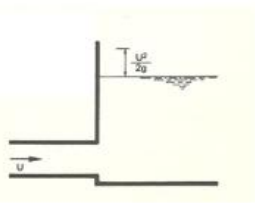
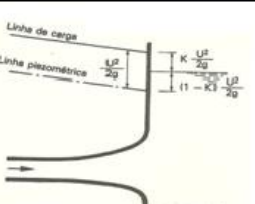
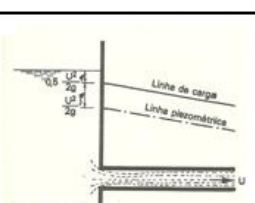
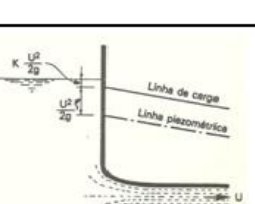
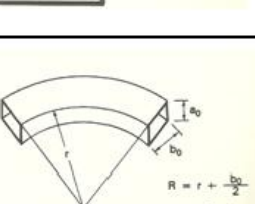
## **Anexos**



Anexo 1 – Diagrama de *Moody*



Anexo 2 – Tabela das perdas de carga localizadas

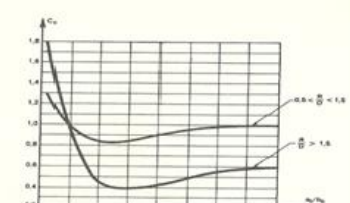
| Tipo de perda  | Representação   | K                  |
|--|---|--------------------|
| Passagem de uma conduta para um reservatório         |    | 1                  |
| Passagem de uma conduta para um reservatório gradual |    | 0,5                |
| Passagem de um reservatório para uma conduta         |   | 0,5                |
| Passagem de um reservatório para uma conduta gradual |  | 0,05               |
| Mudança de direção                                   |  | $K=A_1.B_1.C_1(1)$ |

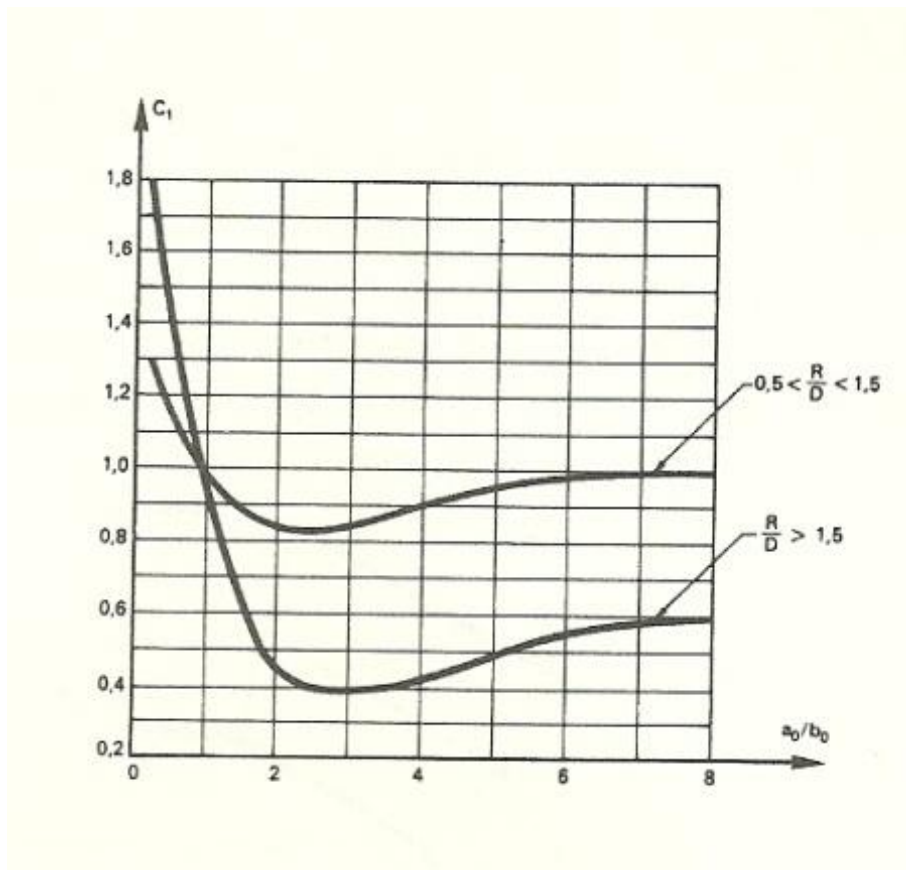
(1):

| $\alpha$<br>(graus) | $\leq 70^\circ$   | $90^\circ$ | $\geq 100^\circ$                     |
|---------------------|-------------------|------------|--------------------------------------|
| $A_1$               | $0,9 \sin \alpha$ | 1,0        | $0,7 + 0,35 \frac{\alpha}{90^\circ}$ |

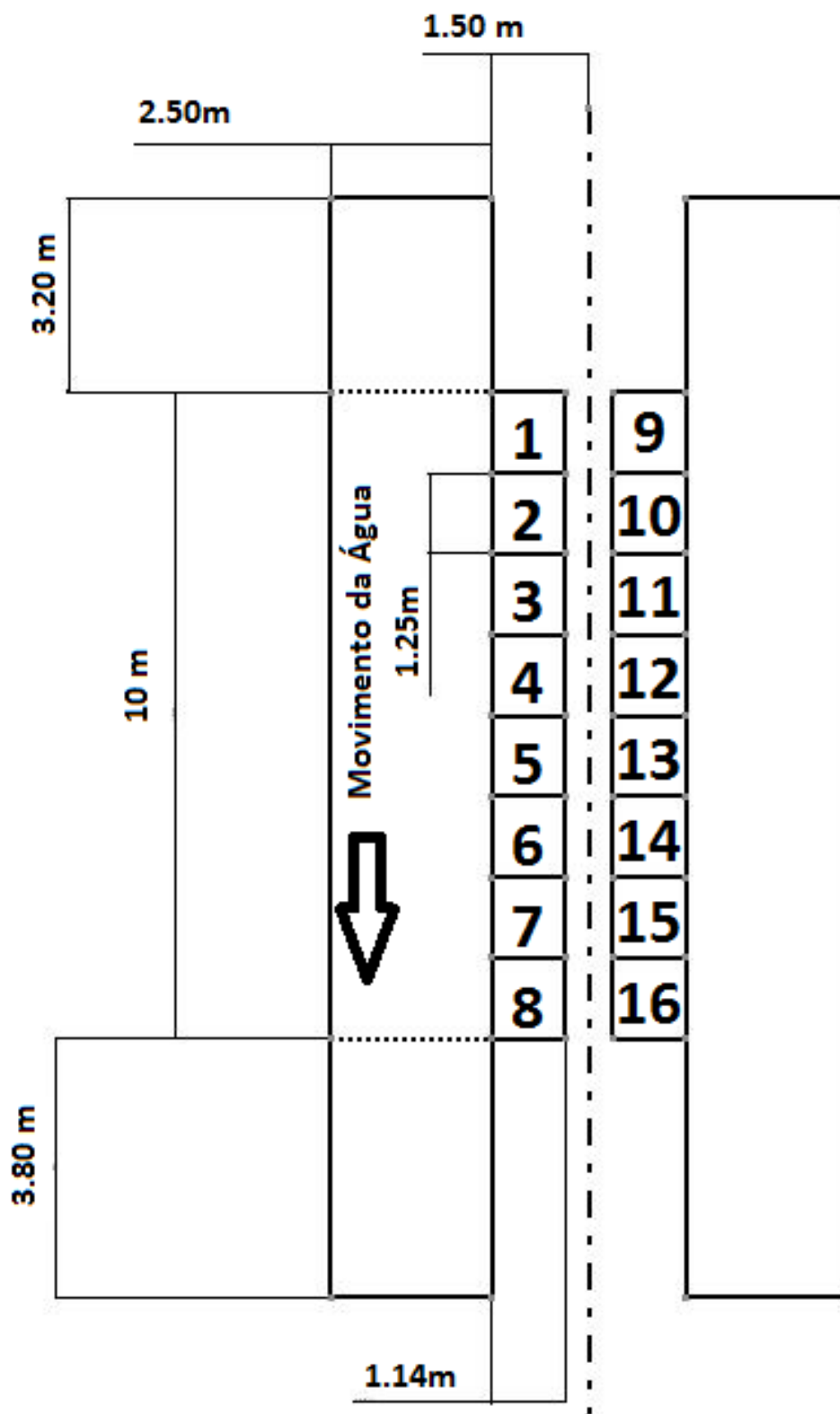
  

| R/D   | 0,5 a 1,0                                     | $> 1,0$                           |
|-------|---|-----------------------------------|
| $B_1$ | $\frac{0,21}{\left(\frac{R}{D}\right)^{2,5}}$ | $\frac{0,21}{\sqrt{\frac{R}{D}}}$ |



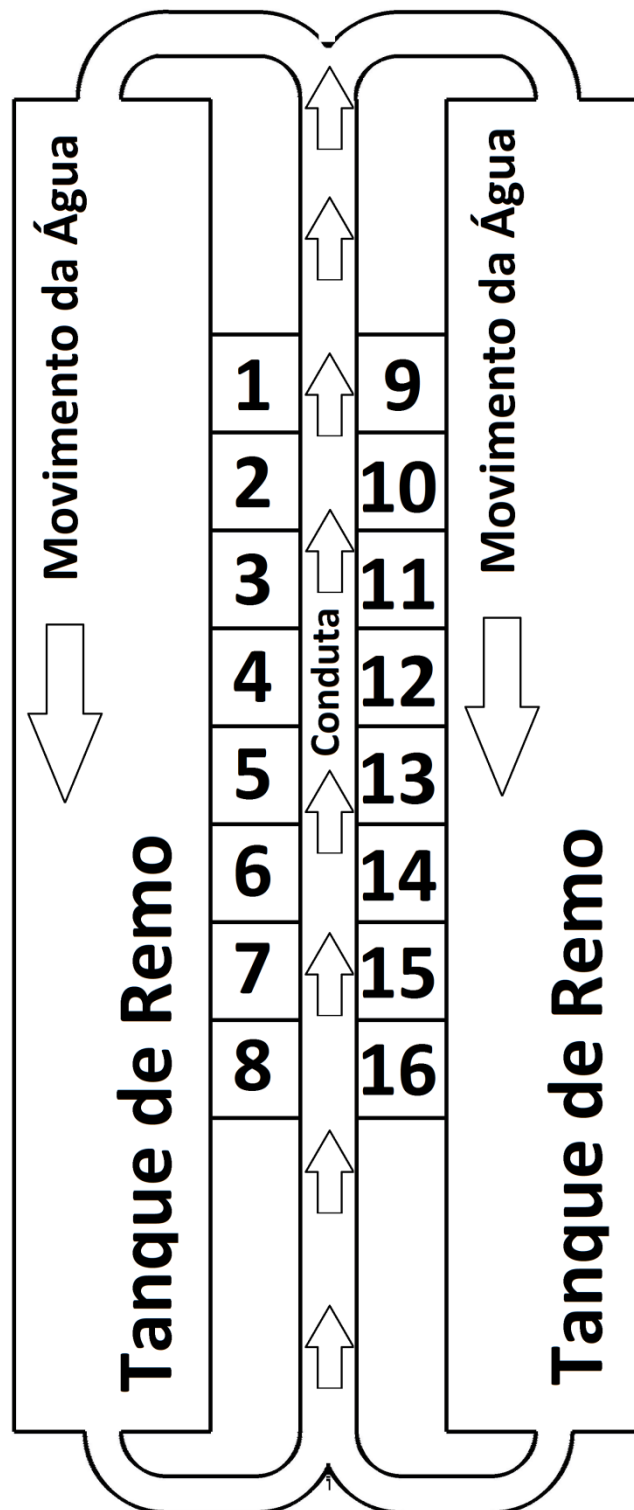
Anexo 3 – Primeiro Esquisso



**Anexo 4 – Tabela de Calculo das Secções Retangular, Trapezoidal e Triangular**

**Anexo 5 – Tabela de Calculo da Secção Trapézio-Retangular**

Anexo 6 – Esquismo do Sistema de Bombeamento



**Anexo 7 – Tabela de Calculo Final da Secção Retangular – 1ª conduta**



**Anexo 8 – Tabela de Calculo Final da Secção Trapézio-Retangular – 1ª conduta**

**Anexo 9 – Tabela de Calculo Final da Secção Retangular – 2ª conduta**

**Anexo 10 – Tabela de Calculo Final da Secção Trapézio-Retangular – 2ª conduta**

**Anexo 11 – Dimensões da Bomba - Begemann Q pump**

**Anexo 12 – Tabela de Calculo Final da Secção Retangular – 3ª conduta**

**Anexo 13 – Tabela de Calculo Final da Secção Trapézio-Retangular – 3ª conduta**

RIA

Estes anexos só estão disponíveis para consulta através do CD-ROM.  
Queira por favor dirigir-se ao balcão de atendimento da Biblioteca.

Serviços de Documentação  
Universidade de Aveiro